

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ, ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ
ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ
ՎԱՆԱԶՈՐԻ ՄԱՍՆԱՃՅՈՒՂ

Տեխնոլոգիաների և ճյուղային տնտեսագիտության ամբիոն

Մ.Մ. ՄԻՍՈՆՅԱՆ

ՈՒԺԵՐԸ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ
ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԸ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՏՐՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

ՈՒՍՈՒՄՆԱԿԱՆ ՁԵՌՆԱՐԿ

ԵՐԵՎԱՆ
ՃԱՐՏԱՐԱԳԵՏ
2023

ՀՏԴ
ԳՄԴ
Ս

Գրախոսներ՝
տեխն.գիտ.դոկտոր, դոցենտ Ն.Գ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ
տեխն.գիտ.թեկնածու, դոցենտ Մ.Հ. ՆԱՎՈՅԱՆ

Մ.Մ. Սիմոնյան

Ս **Ուժերը և ջերմային երևույթները մետաղների**
կտրման գործընթացում: Ուսումնական ձեռնարկ: - Երևան.:
Ճարտարագետ, 2023. – էջ 98:

Ուսումնական ձեռնարկը վերաբերում է մետաղների կտրման գործընթացն ուղեկցող կարևոր գործոններից երկուսին՝ կտրման ուժերին և ջերմային երևույթներին, որոնք նշանակալի ազդեցություն ունեն հանվող շերտը տաշելի վերափոխման, ինչպես նաև կտրման գործընթացների հիմնական բնութագրերի վրա:

Նախատեսվում է «Մեքենաշինություն և նյութերի մշակում» (դասիչ՝ 071502.00.6), «Տնտեսագիտություն» (դասիչ՝ 031101.00.6) բակալավրական կրթական ծրագրերի և է «Մեքենաշինություն և նյութերի մշակում» (դասիչ՝ 071502.00.7) մագիստրոսական կրթական ծրագրի ուսանողների համար:

Նկար՝ 52, աղյուսակ՝ 4, գրականություն՝ 30 անուն:

ՀՏԴ
ԳՄԴ

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Ցանկացած մեքենայի պատրաստումը բաղկացած է երեք փուլերից. դետալների նախապատրաստվածքների ստացում, նախապատրաստվածքների մշակում, որից հետո նրանք վերափոխվում են դետալների, դետալների հավաքում, որի արդյունքում ստացվում է կոնկրետ մեքենան:

Նախապատրաստվածքների ստացումը տեղի է ունենում մետալուրգիական, դարբնոցային, մամլման և այլ արտադրություններում: Այն հիմնված է ելակետային նյութի միջև որոշակի բարձր ջերմաստիճան տաքացման վրա, կամ նրա վրա մեծ ճնշումների ազդեցության, ինչպես նաև ջերմության և ճնշման միաժամանակյա ազդեցության վրա: Տաքացման և բարձր ճնշումների հետևանքով նախապատրաստվածքների մակերևույթները բնութագրվում են չափերի, երկրաչափական ձևի և դասավորության նշանակալի շեղումներով և անհարթություններով: Այդպիսի մակերևույթները պիտանի չեն դետալների միացման և հետագա շահագործման ժամանակ ծառայողական ֆունկցիաների կատարման համար: Մակերևույթներից պահանջվող որակն ապահովելու համար նախապատրաստվածքները ենթարկվում են տարբեր տեսակի հետագա մշակումների: Արդի կիրառվող մշակման եղանակները հիմնականում կարելի է բաժանել երկու խմբի. եղանակներ, որոնք հիմնված են կտրումով մշակման վրա, և մշակման ֆիզիկա-քիմիական եղանակներ: Ներկայիս մեքենաշինության մեջ նշված եղանակների տեսակարար կշիռները խիստ տարբեր են: Շատ հաճախ կիրառվում է կտրմամբ մշակումը, իսկ ֆիզիկա-քիմիական եղանակների չափաքաժինը կազմում է մեխանիկական մշակման ամբողջ ծավալի 1,5 %-ից ոչ ավելին:

Մեխանիկական էներգիան, որը կտրման գործընթացում ծախսվում է դեֆորմացման, շփման ու քայքայման վրա, փոխակերպվում է ջերմության: Մեխանիկական էներգիայի միայն շատ փոքր մասը (մոտ 0,5 ... 5 %)ծախսվում է բյուրեղների ներքին վերափոխումների վրա: Առաջացած ջերմային էներգիան ունի մեծ ազդեցություն դեֆորմացիայի գործընթացի, կտրող սեպի

աշխատունակության և հպման տեղամասի ֆիզիկական երևույթների, ինչպես նաև դետալի մակերևութային շերտի ձևավորման և վիճակի վրա:

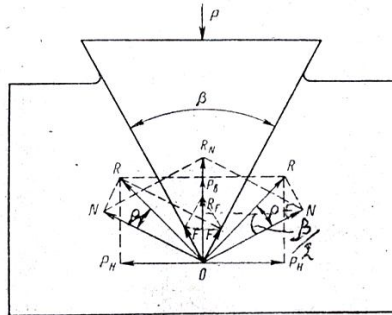
Կտրումով մշակման ժամանակ նախապատրաստվածքից թողվածքի հեռացումն ուղեկցվում է կտրող շերտի դիմադրությամբ, ինչը հաղթահարվում է գործիքի կողմից: Առաջացած կտրման ուժերը որոշում են ոչ միայն տեխնոլոգիական համակարգում գոյացած ուժերն ու լարումները, այլև կտրման ջերմաստիճանը, գործիքի կայունությունը, մշակման ճշտությունը, արտադրողականությունը և ծախսված հզորությունը:

Ներկայացված ուսումնական ձեռնարկը վերաբերում է կտրմամբ մշակման այնպիսի կարևոր գործոնների, որոնցից են կտրման ուժերն ու ջերմային երևույթները և հատկապես ընդհատ կտրման գործընթացի դինամիկ ուժի (հարվածի) և ջերմաստիճանի հետազոտման առանձնահատկությունները:

ԳԼՈՒԽ 1. ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԵՐ

1.1. ԳՈՐԾԻՔԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ՈՒԺԵՐԸ

Կտրման ուժերը հանդիսանում են կտրման գործընթացի կարևոր պարամետրերը: Նրանց մեծությունից է կախված կտրման իրագործման համար անհրաժեշտ հզորությունը: Կտրման ուժերն ունեն մեծ ազդեցություն կտրման ջերմաստիճանի, մշակման գործընթացում առաջացող տատանումների, կտրող գործիքի կայունության, մշակման ճշտության և արտադրողականության վրա: Կտրման ուժերի մեծությունները հանդիսանում են էլակետային՝ կտրող գործիքների, հարմարանքների տարրերի, մետաղահատ հաստոցների տարրեր հանգույցների և դետալների ամրության և կոշտության հաշվարկների համար: Կտրիչի առանձին երկրաչափական պարամետրերի դերը պարզաբանելու համար երբեմն նպատակահարմար է այն համեմատել սեպի հետ (նկ. 1.1):



Նկ. 1.1. Կտրող սեպի վրա ազդող ուժերը

P ուժի ազդեցության հետևանքով, որն ուղղված է սեպի առանցքով, այն ներխուժում է նյութի մեջ: Երբ սեպի վրա ազդող ճնշման (ուժի) մեծությունը գերազանցի նրա նիստերի վրա առաջացած շփման ուժերի և նյութի մասնիկների կառչման ուժերի մեծությունների գումարին, կառաջանա նյութի մասնատում, խզում: Սեպի առանցքի նկատմամբ նրա նիստերի սիմետրիկ

դասավորության դեպքում, սեպի երկու նիստերը N նորմալ ուժերով առաջացնում են միատեսակ ճնշումներ նյութի երկու կողմերի վրա՝ դեֆորմացնելով նրան:

N նորմալ ուժերին հակազդելու հետևանքով, սեպի նիստերի վրա առաջանում են շփման F ուժեր, որոնք համեմատական են նորմալ ուժերին և արգելակում են սեպի ներխուրմանը նյութի մեջ.

$$F = N \cdot \operatorname{tg} \rho = \mu \cdot N,$$

որտեղ ρ -ն շփման անկյունն է, μ -ն՝ շփման գործակիցը:

Նշանակենք. β – սեպի անկյուն, R_F – շփման երկու F ուժերի համագործը, R_N – նորմալ երկու N ուժերի համագործը: Նկ. 1.1-ից երևում է.

$$\begin{aligned} \frac{R_N}{2} &= N \cdot \sin \frac{\beta}{2}, & R_N &= 2 \cdot N \cdot \sin \frac{\beta}{2}, \\ \frac{R_F}{2} &= F \cdot \cos \frac{\beta}{2}, & R_F &= 2 \cdot F \cdot \cos \frac{\beta}{2}, \end{aligned}$$

Քանի որ ըստ հավասարակշռության պայմանի՝ $P = R_N + R_F$, ապա.

$$\begin{aligned} P &= 2 \cdot N \cdot \sin \frac{\beta}{2} + 2 \cdot N \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot \cos \frac{\beta}{2} = \\ &= 2 \cdot N \cdot \frac{\sin \frac{\beta}{2} \cdot \cos \rho + \cos \frac{\beta}{2} \cdot \sin \rho}{\cos \rho} \\ P &= 2 \cdot N \cdot \frac{\sin \left(\frac{\beta}{2} + \rho \right)}{\cos \rho}. \end{aligned}$$

N և F ուժերի համագործը նշանակենք R -ով: Ակնհայտ է, որ.

$$R = \frac{N}{\cos \rho} = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\sin \left(\frac{\beta}{2} + \rho \right)}.$$

R ուժը վերածենք երկու բաղադրիչների: Նրանցից մեկը ուղղաձիգ (P_B) բաղադրիչն է և հավասար է $\frac{P}{2}$ -ի, իսկ մյուսը՝ հորիզոնական (P_H) բաղադրիչը, որը մասնատում է նյութը.

$$P_H = R \cdot \sin \left[90 - \left(\frac{\beta}{2} + \rho \right) \right] = R \cdot \cos \left(\frac{\beta}{2} + \rho \right),$$

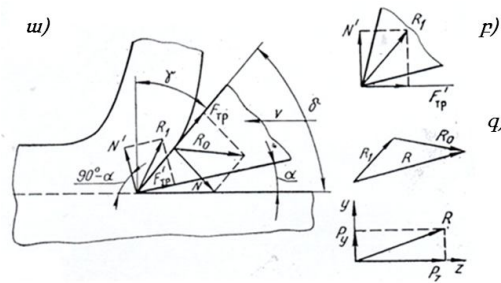
Բանաձևի վերջնական տեսքը կլինի.

$$P_H = \frac{P}{2} \cdot \frac{\cos \left(\frac{\beta}{2} + \rho \right)}{\sin \left(\frac{\beta}{2} + \rho \right)} = \frac{P}{2} \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\beta}{2} + \rho \right) \quad (1.1)$$

Այսպիսով, սեպի վրա կիրառված P ուժը պետք է հաղթահարի նյութի դիմադրության առաձգական և պլաստիկ դեֆորմացիաները և սեպի նիստերի վրա առաջացած շփման ուժերի մասնատման դեմ ուղղված նյութի դիմադրությունը:

Ստացված հավասարումների համաձայն, P ուժը պետք է մեծանա առաձգական և պլաստիկ դեֆորմացիաներին նյութի դիմադրության, սեպի β անկյան և շփման գործակցի (շփման անկյան) մեծացման դեպքերում: Սեպի աշխատանքի վերոնշյալ բոլոր տարրերը առկա են կտրիչի աշխատանքի ժամանակ, այն տարրերությամբ, որ կտրիչի առջևի և հետին աշխատանքային մակերևույթները մշակման ժամանակ կրում են տարբեր բեռնվածություններ, որովհետև նրանց վրա ազդող ուժերը սիմետրիկ չեն նիստերի նկատմամբ, ինչպես սեպի աշխատանքի նկարագրված դեպքում:

Դիտարկենք ազատ կտրման ժամանակ ազդող ուժերի համակարգը (նկ. 1.2):



Նկ. 1.2. Ազատ կտրման ժամանակ ազդող ուժերի սխեմաները

Կտրիչի առջևի մակերևույթի վրա տաշեղը ճնշում է R_o ուժով, որը հանդիսանում է N նորմալ ուժի և տաշեղի ու առջևի մակերևույթի շփման $F_{2\phi}$ ուժերի համագործը.

$$R_o = \bar{N} + \bar{F}_{2\phi} :$$

Կտրիչի հետին մակերևույթի վրա, կտրող եզրին մոտ, ազդում են նաև մշակվող նյութի առաձգական հակազդման N' և հետին մակերևույթի $F'_{2\phi}$ ուժերը, որոնց համագործը R ուժն է, որովհետև հետին α անկյունը փոքր է և մաշման առկայության դեպքում հետին մակերևույթի որոշ տեղամասում այն հավասար է զրոյի, ուժերի

ուղղությունները պայմանավորված են նշված հանգամանքներով: Շփման $F'_{2\psi}$ ուժն ուղղված է կտրման ν արագությանը հակառակ (նկ. 1.2, բ): Կտրման գործընթացն իրականացնելու կամ կտրիչի հավասարակշռությունը պահպանելու համար, կտրիչի վրա արտաքինից պետք է կիրառվի ուժ, որի մեծությունն է.

$$\bar{R} = \bar{R}_0 + \bar{R}_1,$$

իսկ ուղղությունը՝ R -ին հակառակ (նկ. 1.2, գ):

Կտրիչի վրա ազդող R ուժը վերլուծենք երկու բաղադրիչների՝

1. P_z , որն ուղղված է գլխավոր շարժման ուղղությամբ և կոչվում է շոշափող ուժ:

2. P_y , որն ուղղված է կտրիչի առանցքի ուղղությամբ և կոչվում է կտրման շառավղային ուժ:

Պրոյեկտելով ազդող ուժերը Y և Z առանցքների վրա, կստանանք.

$$P_y = -Ns \sin \gamma + F_{2\psi} \cdot \cos \gamma + N', \quad (1.2)$$

$$P_z = N \cos \gamma + F_{2\psi} \cdot \sin \gamma + F_{2\psi}', \quad (1.3)$$

1.2. ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԵՐԻ ՏԵՍԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Կտրող գործիքով մշակման գործընթացում նյութերի դիմադրության տեսական խնդիրներով զբաղվել են ռուսական, սովետական և արտասահմանյան այլ երկրների մեծաթիվ հետազոտողներ: Գործիքի առջևի և հետին նիստերի վրա ազդող ուժերի որոշման տեսական կախվածությունները բարդ են և ոչ այնքան ճիշտ, որովհետև հիմնված են մի շարք հիպոթեզների վրա և պարունակում են գործակիցներ, որոնք բնութագրում են մշակվող նյութի հատկությունները, մշակման պայմանները և այլն: Այդ գործակիցները մեծամասամբ հայտնի չեն և ենթակա են որոշման: Որպես օրինակ, դիտարկենք նորմալ ուժի որոշման Վ.Ա. Կրիվոուխովի կողմից առաջարկված կախվածությունը[8].

$$N = \sigma_o t S \xi^{m_c}, \text{ կգուծ} \quad (1.4)$$

որտեղ σ_o - սեղմման ժամանակ մշակվող նյութի հոսունության սահմանը, կգուծ/մմ², t - կտրման խորությունը, մմ, S -մատուցումը,

մմ/պտ, ξ - տաշեղի կծկման գործակիցը, m_c - մշակվող նյութի սեղմման ժամանակ պոլիտրոպի ցուցիչը:

Բանաձևը ստացվել է տաշեղագոյացման և պլաստիկ սեղմման գործընթացների համեմատման հիման վրա: Ինչպես հայտնի է, պլաստիկ սեղմման ժամանակ սեղմող P_c ուժի և սեղմվող զլանական նմուշի h_c բարձրության միջև գործում է հետևյալ կապը.

$$P_c \cdot h_c^{m_c} = const: \quad (1.5)$$

Այս կախվածությունը կոչվում է պլաստիկ սեղմման պոլիտրոպի օրենք:

(1.5)-ից հետևում է.

$$P_c \cdot h_c^{m_c} = P_0 \cdot h_0^{m_c},$$

որտեղ P_0 - նմուշի վրա ազդող ուժը, h_0 - պլաստիկ դեֆորմացման սկզբում նմուշի բարձրությունը:

$$P_c = P_0 \cdot \left(\frac{h_0}{h_c}\right)^{m_c} = F_0 \cdot \sigma_0 \cdot \left(\frac{h_0}{h_c}\right)^{m_c}, \quad (1.6)$$

որտեղ F_0 -ն պլաստիկ դեֆորմացման սկզբում նմուշի մակերեսն է:

Տաշեղագոյացման գործընթացում կիրառման դեպքում $P_c = N$, $F_0 = t \cdot s$, $\frac{h_0}{h_c} = \varepsilon$: Տեղադրումից հետո ստացվում է Վ.Ա. Կրիվոուխովի հայտնի բանաձևը (1.4):

Նմանատիպ բանաձև առաջարկել է նաև Վ.Պ.Կուզնեցովը, նույնացնելով կտրման և սեղմման ուժերը.

$$P = \sigma_0 \cdot a \cdot b \cdot \Delta_l^m, \quad (1.7)$$

որտեղ σ_0 - հոսունության պայմանական սահմանը, որը փոքր է իրականից, բայց մոտ է նրան, $a \cdot b$ - նմուշի ընդլայնական հատույթի մակերեսը, Δ_l -երկայնական կծկումը, m - ցուցիչի մեծությունը, որը գտնվում է կապի մեջ տաշեղի հաստության հետ և որոշվում է փորձնական եղանակով: Առաջարկված բանաձևի և (1.4) բանաձևի համեմատումը ցույց է տալիս նրանց նմանությունը, այն տարբերությամբ, որ մի դեպքում օգտագործված են t և s տեխնոլոգիական, իսկ մյուսում՝ a և b ֆիզիկական պարամետրերը:

Մետաղների պլաստիկ սեղմման և կտրումով մշակման ժամանակ ընթացող պլաստիկ դեֆորմացիաների վրա ծախսված տեսակարար աշխատանքների հավասարության հիպոթեզի հիման

վրա, Ա.Մ. Ռոզենբերգի կողմից առաջարկվել է կտրման ուժի որոշման հետևյալ բանաձևը՝

$$P = 0,185 \cdot H_n \cdot a \cdot b \cdot K, \quad (1.8)$$

որտեղ H_n - հանված տաշեղի կարծրությունը, a և b - հաստության հաստությունը և լայնությունը, K -գործակից, որը որոշվում է հետևյալ արտահայտությունից.

$$K = \frac{\varepsilon}{1 - \frac{\sin(\rho)}{\zeta \cdot \cos(\rho - \gamma)}},$$

որտեղ ε - հարաբերական սահքի մեծությունը, ζ - կծկման գործակիցը, ρ - շփման անկյունը, γ - առջևի անկյունը:

Պետք է ասել, որ ներկայացված և հայտնի այլ տեսական կախվածություններն անթերի չեն ոչ միայն ելակետային հիպոթեզների, այլև ճշմարտության առումներով: Նրանք չեն բացահայտում բարդ ֆիզիկական երևույթները կտրման գործընթացում, որովհետև հաշվի չեն առնում այնպիսի գործոններ, ինչպիսիք են՝ մշակվող նախապատրաստվածքի անիզոտրոպությունը, կտրող եզրի մաշման հետևանքով գործիքի երկրաչափական պարամետրերի փոփոխությունը, մակաճագոյացումը և առանձին «անկախ» պարամետրերի փոխկապակցությունը (սահքի անկյուն, շփման անկյուն, կծկման գործակից, առջևի անկյուն), որոնք օգտագործվում են տեսական հաշվարկներում: Կտրման ուժի տեսական բանաձևերն առաջարկված են այն ենթադրությունների հիման վրա, ըստ որոնց, կտրման գործընթացը դիտարկվել է որպես պլաստիկ սեղմում (Վ.Ա. Կրիվոուխով) կամ սահք (Ա.Մ.Ռոզենբերգ): Իրականում, կտրման գործընթացում նշված երկու տեսակի դեֆորմացիաներն էլ առկա են: Ընդ որում, սեղմման վրա ծախսված աշխատանքը կազմում է կտրման գործընթացի վրա ծախսված աշխատանքի մոտ 60%-ը, իսկ սահքի աշխատանքը՝ մոտ 40%-ը: Ըստ որոշ աղբյուրների, պլաստիկ սեղմման վրա ծախսված աշխատանքը կարող է կազմել լրիվ դեֆորմացման վրա ծախսված ամբողջ աշխատանքի մինչև 85%-ը: Կտրման ուժի որոշման տեսական հետազոտական աշխատանքները հետագա լուրջ մշակման կարիք ունեն, ինչը խիստ կերպով կապված է մետաղների կտրման տեսության մեջ իրենց նշանակալի ներդրումն ունեցող

գիտության տարբեր ճյուղերի զարգացման մակարդակների հետ (առաձգականության տեսություն, սահքի տեսություն, պլաստիկության տեսություն, ջերմատեխնիկա, ատոմային ֆիզիկա, պինդ մարմնի ֆիզիկա, սիներգետիկա, չափման տեխնիկա և այլն):

Կտրման ուժի տեսակադրեն որոշման բարդությունը և առաջարկված բանաձևերի անկատարությունը հիմք են հանդիսացել ուժի որոշումը տեսական և փորձնական արդյունքների կիրառմամբ իրականացնելու համար (կիսափորձնական եղանակ): Այս տեսանկյունից բավականին դյուրին և արդյունավետ է կտրման տեսակարար ուժի որոշման Թ.Ն. Լոլաձեի կողմից առաջարկված բանաձևը.

$$P = 1,36 \cdot \sigma_B \cdot \zeta, \quad (1.9)$$

որտեղ σ_B – նյութի ամրության սահմանը ըստ ձգման, ζ – տաշեղի կծկումը, P – տեսակարար ուժը:

Որպես կտրման տեսակարար P ուժ ընդունված է համարել այն ճնշումը, որն առաջանում է հանվող շերտի ընդլայնական հատույթի 1մ^2 վրա, վերջինիս ցանկացած չափերի և ցանկացած կտրման ռեժիմների, ինչպես նաև կտրիչի ցանկացած երկրաչափական պարամետրերի դեպքում (ի տարբերություն կտրման C_p գործակցի).

$$P = \frac{P_Z}{f}, \quad (1.10)$$

հետևաբար.

$$P_Z = P \cdot f = 1,36 \cdot t \cdot S \cdot \sigma_B \cdot \zeta: \quad (1.11)$$

Ըստ Ա.Ն. Չեյուստկինի հետազոտությունների, P_Z ուժի փոփոխման օրինաչափությունը, կախված կտրման ընդլայնական հատույթի լայնությունից և հաստությունից, որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$P_Z = C_p \cdot b \cdot a^n, \quad (1.12)$$

որտեղ $n = 0,75$:

(1.12) բանաձևի մեջ տեղադրելով.

$$a = S \cdot \sin\varphi \quad \text{և} \quad b = \frac{t}{\sin\varphi},$$

կստանանք.

$$P_Z = C_p \cdot t \cdot S^{0.75} / (\sin\varphi)^{0.25}, \quad (1.13)$$

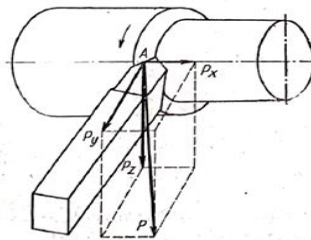
Երբ $\varphi = 90^\circ$.

$$P_z = C_p \cdot t \cdot S^{0.75}; \quad (1.14)$$

Իր պարզությամբ հանդերձ, այս բանաձևն արտահայտում է կտրման ուժի P_z գլխավոր բաղադրիչի սկզբունքորեն ճիշտ կախվածությունը կտրման հատույթի մեծությունից:

1.3. ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԵՐԸ ՇՐՋԱՏԱՀՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Շրջատաշման ժամանակ գործող ուժերի համակարգը կարելի է բերել մեկ համագոր ուժի, որը կոչվում է կտրման ուժ (նկ. 1.3): Կախված մշակվող նյութի տեսակից և մշակման պայմաններից, կտրման P ուժը փոխում է ոչ միայն իր մեծությունը, այլև ուղղությունը՝ դետալի և կտրիչի նկատմամբ: Այդ պատճառով, ծախսված հզորության, կտրիչի, ինչպես նաև հաստոցի առանձին դետալների և հանգույցների ամրության և կոշտության հաշվարկների համար P ուժը վեր է ածվում z , y , x կոորդինատային առանցքների ուղղություններով երեք բաղադրիչների՝ P_z , P_y և P_x : Z առանցքը դասավորված է ուղղաձիգ ուղղությամբ, իսկ Y և X առանցքները գտնվում են հորիզոնական հարթության վրա: Y առանցքը ուղղահայաց է դետալի առանցքին, X առանցքը զուգահեռ է նրան (նկ. 1.3):



Նկ. 1.3. Կտրման ուժերի սխեման շրջատաշման ժամանակ

P_z ուժը կոչվում է կտրման ուժի գլխավոր բաղադրիչ կամ շրջանային ուժ, P_y -ը՝ շառավղային ուժ, P_x -ը՝ առանցքային կամ մատուցման ուժ: Շրջանային P_z ուժի հակազդումը ստեղծում է

կտրման դիմադրության մոմենտ, որը կոչվում է կտրման ոլորող մոմենտ.

$$M = \frac{P_z \cdot D}{2000} \text{ կգուծ} \cdot \text{մ}:$$

Կտրման գործընթացի իրականացման համար անհրաժեշտ է, որ հաստոցի ստեղծած M_{hws} ոլորող մոմենտը մեծ լինի կտրման ոլորող մոմենտից, այսինքն՝ $M_{hws} \geq M_{կտ}$: Հաստոցի արդյունաբար $N_{կտ}$ հզորությունը ներառում է հաստոցի մեխանիզմներում շփման ուժերի հաղթահարման վրա ծախսված հզորությունները.

$$N_{կտ} = N_{P_z} + N_{P_y} + N_{P_x} \quad (1.15)$$

կամ

$$N_{կտ} = \frac{P_z \cdot V_z}{60 \cdot 102} + \frac{P_y \cdot V_y}{60 \cdot 102} + \frac{P_x \cdot V_x}{60 \cdot 102} \text{ կՎտ},$$

որտեղ $V_z = V$ – կտրման արագությունը, մ/րոպ, $V_y = 0$ – շառավղային ուղղությամբ կտրիչի տեղաշարժման արագությունը, $V_x = \frac{S}{1000}$ – մատուցման արագությունը:

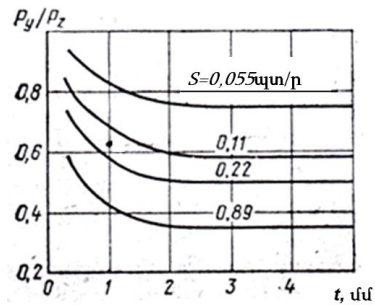
Քանի որ V_x -ի մեծությունը, համեմատած կտրման արագության հետ, շատ փոքր է, ապա կտրման արդյունաբար հզորության հաշվարկի ժամանակ երրորդ բաղադրիչը կարելի է հաշվի չառնել և հաստոցի արդյունաբար հզորության հաշվարկում օգտագործել միայն շրջանային ուժը.

$$N_{կտ} = \frac{P_z \cdot V}{6102} \text{ կՎտ}:$$

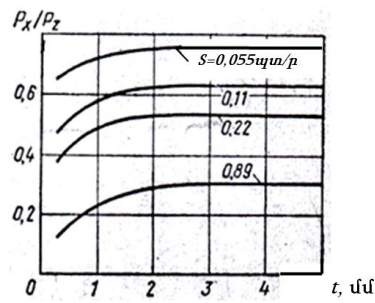
Կտրիչի վրա ազդող P_z ուժը ծոում է այն ուղղաձիգ ուղղությամբ, իսկ նրան հակազդող ուժը (ռեակցիան) ծոում է դետալը հակառակ ուղղությամբ: P_y ուժը ձգտում է հեռացնել կտրիչը դետալից՝ առանցքին ուղղահայաց ուղղությամբ, իսկ նրա հակազդումը ծոում է դետալը հակառակ ուղղությամբ: P_x ուժը հակազդում է հաստոցի ենթակիրի շարժմանը՝ դետալի առանցքի ուղղությամբ: Այս ուժը ծոում է կտրիչը հորիզոնական հարթության մեջ: Ըստ P_x ուժի մեծության հաշվարկվում է հաստոցի մատուցման մեխանիզմի ամրությունը: P_x ուժի ռեակցիան տեղաշարժում է դետալը իր առանցքի ուղղությամբ:

P_z ուժի մեծությունը հիմնականում որոշվում է կտրիչի առջևի մակերևույթի վրա ազդող նորմալ ուժով: P_z , P_y և P_x ուժերի միջև

եղած հարաբերակցությունը փոխվում է՝ կախված մշակվող նյութի տեսակից, կտրիչի երկրաչափությունից, կտրման ռեժիմից: Նկ. 1.4-ում և 1.5-ում ցույց են տրված կտրման խորության և մատուցման ազդեցությունները P_y/P_z և P_x/P_z հարաբերությունների վրա, երբ մշակվող նյութը պողպատից է:



Նկ. 1.4. Կտրման խորության և մատուցման ազդեցությունը P_y/P_z հարաբերության վրա շրջատաշման ժամանակ (պողպատ 40, $\gamma = 0^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $r = 0^\circ$, $V = 150$ մ/րոպ)



Նկ. 1.5. Կտրման խորության և մատուցման ազդեցությունը P_x/P_z հարաբերության վրա շրջատաշման ժամանակ (պողպատ 40, $\gamma = 0^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $r = 0^\circ$, $V = 150$ մ/րոպ)

Եթե անցումային սայրի շառավիղը՝ $r = 0$, ապա կտրման խորության մինչև $t = 2$ մմ մեծացման դեպքում, P_y/P_z հարաբերությունը նվազում է, իսկ P_x/P_z -ը՝ աճում: Կտրման խորության հետագա աճի դեպքում նշված հարաբերությունները մնում են անփոփոխ: Ցանկացած կտրման խորության դեպքում, մատուցման աճը փոքրացնում է P_y/P_z և P_x/P_z հարաբերությունները:

P_z , P_y և P_x ուժերի հարաբերությունների վրա զգալի ազդեցություն ունեն կտրիչի γ և φ անկյունները: Առջևի անկյան փոքրացումը բերում է P_y/P_z և P_x/P_z հարաբերությունների մեծացմանը: Պլանում գլխավոր φ անկյան փոփոխությունը նշանակալի ազդեցություն ունի P_x/P_y հարաբերության վրա: Նկ. 1.6-ից հետևում է, որ

$$P_x/P_y = \operatorname{tg}(\varphi \pm \eta_{xy}),$$

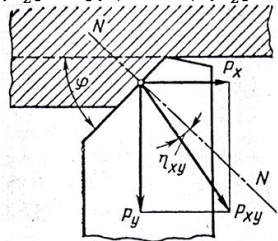
որտեղ η_{xy} անկյունը հանդիսանում է տաշեղի հեռացման անկյան պրոյեկցիան xy կոորդինատային հարթության վրա (նկ. 1.6):

Բանաձևից երևում է, որ φ անկյան մեծացման ժամանակ P_x/P_y հարաբերությունն անընդհատ աճում է և հասնում իր առավելագույն արժեքին $\varphi = 90^\circ$ -ի դեպքում: φ անկյան առավելագույն արժեքի դեպքում P_x -ը հասնում է իր առավելագույն մեծությանը, իսկ P_y -ը նվազագույնին: Երբ $\varphi = 45^\circ, \lambda = 0^\circ, \gamma = 15^\circ$ և $t/S > 10$, կարելի է օգտվել հետևյալ մոտավոր հարաբերակցությունից.

$$P_z : P_y : P_x = 1 : (0,4 \dots 0,5) : (0,25 \dots 0,3):$$

Ներքևում բերված բանաձևից հետևում է, որ P_z գլխավոր բաղադրիչն իր մեծությամբ քիչ է տարբերվում կտրման P ուժից.

$$P = \sqrt{P_z^2 + [(0,4 \dots 0,5)P_z]^2 + [(0,25 \dots 0,3)P_z]^2} = (1,1 \dots 1,15)P_z:$$



Նկ. 1.6. Շրջատաշման ժամանակ կտրման ուժի հորիզոնական բաղադրիչները և նրանց համագործը

1.4. ԿՏՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄԻ ԱԶՂԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿՏՐՄԱՆ ՌԻԺԻ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ՎՐԱ

Կտրման խորության և մատուցման մեծացման դեպքում մեծանում է կտրվող շերտի հատույթի մակերեսը, ինչը բերում է կտրման ուժի բոլոր բաղադրիչների մեծացմանը: Անցումային կտրիչներով մշակման դեպքում կտրման ուժի բաղադրիչների որոշման համար օգտվում են հետևյալ կախվածություններից.

$$\begin{aligned} P_z &= C_{P_z} \cdot t^{x_P} \cdot S^{y_P}, \\ P_y &= C_{P_y} \cdot t^{x_P} \cdot S^{y_P}, \\ P_x &= C_{P_x} \cdot t^{x_P} \cdot S^{y_P}, \end{aligned}$$

որոնք կապ են հաստատում ուժի բաղադրիչների և կտրման խորության ու մատուցման միջև: Տարբեր մշակման պայմաններում, տարբեր նյութերի ուղիղ կտրվող շերտերով մշակումները վկայում են այն մասին, որ կտրման ուժի բաղադրիչների վրա կտրման խորությունն ունի ավելի մեծ ազդեցություն, քան մատուցումը, որն արտահայտվում է $x_p > y_p$ անհավասարությամբ: Թուջերի ու պողպատների շրջատաշման ժամանակ աստիճանացույցերի արժեքները բերված են աղյուսակ 1.1-ում:

Աղյուսակ 1.1

P_z , P_y և P_x ուժերի որոշման բանաձևերում ցուցիչների միջին արժեքները

Կտրիչի կտրող մասի նյութը	Ցուցիչների արժեքները բանաձևերում					
	P_z ուժ		P_y ուժ		P_x ուժ	
	x_p	y_p	x_p	y_p	x_p	y_p
Կարծրահամաձուլվածք	1	0,75	0,9	0,60	1,0	0,50
Արագահատպողպատ	1	0,75	0,9	0,75	1,2	0,65

Ընդհանուր դեպքում x_p և y_p ցուցիչները հաստատուն չեն և կախված են մշակման խորությունից և մատուցումից $x_p, y_p = f(t, S)$: Ըստ Ն.Ն. Ջորևի [5], ինչպես ուղիղ, այնպես էլ հակադարձ շերտերով շրջատաշման դեպքում կտրման ուժի ցանկացած բաղադրիչի որոշման բանաձևն ունի հետևյալ տեսքը.

$$P_i = C_i \cdot t^{K+\frac{m}{2}lg\frac{t}{S}} \cdot S^{K+\frac{m}{2}lg\frac{S}{t}},$$

որտեղ K -ն և m -ը հաստատուններ են, որոնք կախված են մշակվող նյութի տեսակից և կտրիչի առջևի անկյունից: Երբ $K = 0,9$ և $m = 0,2$, կտրման ուժի գլխավոր բաղադրիչի որոշման համար բանաձևն ընդունում է հետևյալ տեսքը.

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{0,9+0,1lg\frac{t}{S}} \cdot S^{0,9+0,1lg\frac{S}{t}}:$$

Երբ $t/S = 10$ (ուղիղ շերտեր), $P_z = C_{P_z} \cdot t \cdot S^{0,8}$:

Երբ $t/S = 0,1$ (հակադարձ շերտեր), $P_z = C_{P_z} \cdot t^{0,8} \cdot S$:

Այսպիսով, ուղիղ շերտերով շրջատաշման դեպքում P_z ուժի վրա կտրման լայնությունը (խորությունը) ավելի ուժեղ է ազդում, քան հաստությունը (մատուցումը): Կտրվող շերտի լայնության

փոփոխությունը չի ազդում նրա դեֆորմացման աստիճանի փոփոխության վրա (տաշեղի կծկման գործակիցը մնում է հաստատուն): Իսկ կտրվող շերտի հաստության մեծացումը փոքրացնում է տաշեղի կծկման գործակցի մեծությունը, որն իր հերթին փոքրացնում է կտրվող շերտի դեֆորմացիայի աստիճանը: Հատույթի մակերեսի մեծացման հետևանքով կտրվող շերտի լայնության մեծացման ժամանակ, P_z ուժը պետք է մեծանա այնքան անգամ, ինչքան անգամ մեծացել է b մեծությունը, որովհետև տվյալ դեպքում կտրվող շերտի դեֆորմացման աստիճանը չի փոխվում: Այդ պատճառով b լայնության x_p ցուցիչը մոտ է մեկին:

Կտրվող շերտի a հաստության ավելացումը նույնպես մեծացնում է հատույթի մակերեսը, բայց այս դեպքում շերտի դեֆորմացիայի աստիճանը փոքրանում է և P_z ուժի աճը հետ է մնում կտրվող շերտի հաստության աճից: Նշված պատճառով կտրվող շերտի a հաստության y_p ցուցիչը հավասար չէ մեկի և ինչ-որ չափով փոքր է նրանից: Քանի որ կտրվող շերտի ֆիզիկական և տեխնոլոգիական պարամետրերը միմյանց հետ կապված են միայն φ անկյան միջոցով, ապա t -ի և S -ի ազդեցությունը P_z ուժի վրա կլինի նույն ձևով, ինչպիսին է b -ի և a -ի դեպքում: Ասվածը վերաբերում է ինչպես ուղիղ, այնպես էլ հակադարձ շերտերի կտրման դեպքերին: Այդ պատճառով, հակադարձ շերտերի կտրման դեպքում P_z ուժի որոշման բանաձևի մեջ t -ի և S -ի ցուցիչները փոխում են իրենց տեղերը:

Որոշենք կտրման տեսակարար P ուժը.

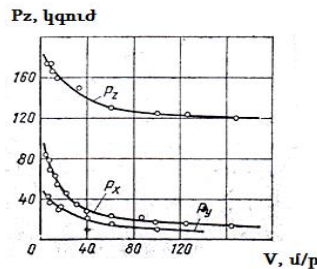
$$P = \frac{P_z}{a \cdot b} = \frac{C'_{P_z} \cdot B^{x_p} \cdot a^{y_p}}{a \cdot b} = \frac{C'_{P_z}}{a^{1-y_p}} = \frac{C''_{P_z}}{a^K},$$

որտեղ $K = 1 - y_p$:

Ստացված բանաձևից հետևում է, որ կտրման տեսակարար ուժը, որն օգտագործում է տարբեր մշակումների ժամանակ կտրման ուժի P_z բաղադրիչի որոշման համար, կախված չէ կտրվող շերտի լայնությունից և փոքրանում է նրա հաստության մեծացումով:

Կտրման արագության փոփոխությունն ազդում է կտրման ուժի բաղադրիչների վրա այնպես, ինչպես այն ազդում է տաշեղի կծկման գործակցի վրա: Այնպիսի նյութերի մշակման ժամանակ, որոնք մակաճագոյացման հակում չունեն, կծկման գործակիցը

միալար նվազում է արագության աճին զուգընթաց, սկզբում՝ արագ, իսկ հետո՝ ավելի դանդաղ: Նման ձևով իրենց դրսևորում են և կտրման ուժի բաղադրիչները (նկ. 1.7):



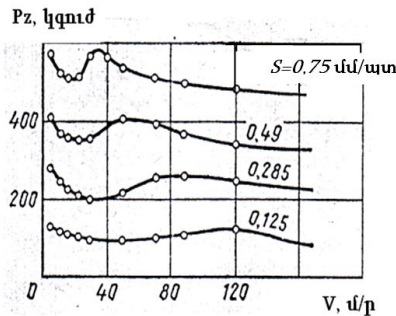
Նկ. 1.7. Կտրման արագության ազդեցությունը կտրման ուժի բաղադրիչների վրա շրջատաշման ժամանակ (տիտանի համաձուլվածք BT1, $\varphi = 70^\circ$, $t = 2,5$ մմ, $S = 0,47$ մմ/պտ)

Մակաճագոյացման նկատմամբ հակում ունեցող նյութերի մշակման դեպքում P_z ուժի և տաշեղի կծկման գործակցի կտրման արագությունից կախվածությունները միալար չեն, բայց ըստ փուլերի համընկնում են, ընդ որում, կծկման գործակցի փոքր արժեքներին համապատասխանում է P_z -ի փոքր արժեքներ և հակառակը:

Նկ. 1.8-ում ցույց է տրված կտրման արագության ազդեցությունը P_z ուժի վրա, տարբեր մատուցումների դեպքում: Նկարից երևում է, որ ինչքան փոքր է մատուցումը, այնքան ավելի մեծ արագության դեպքում է P_z ուժը հասնում իր երկրորդ առավելագույն արժեքին: Ասվածը լրիվ համապատասխանում է (տվյալ մատուցման դեպքում) այն կտրման արագության արժեքին, որը համապատասխանում է մակաճի անհետացմանը: Նույն բանը վերաբերում է նաև P_y և P_x ուժերին:

Մակաճի անհետացումից հետո կտրման արագության մեծացումն ուղեկցվում է կտրման ուժի նվազումով: Մակաճագոյացման գոտուց դուրս, կտրման ուժի բաղադրիչների կախումը կտրման արագությունից արտահայտվում է հետևյալ կախվածություններով.

$$P_z = \frac{C_1}{V^{z_P}}, \quad P_y = \frac{C_2}{V^{z_P}}, \quad P_x = \frac{C_3}{V^{z_P}}:$$



Նկ. 1.8. Կտրման արագության ազդեցությունը կտրման ուժի P_z բաղադրիչի վրա շրջատաշման ժամանակ (պողպատ 40, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 60^\circ$, $t = 4$ մմ)

Կտրման արագության $V = 50 \dots 350$ մ/րոպ տիրույթում փոփոխման դեպքում, կախված մշակվող նյութի տեսակից, առջևի անկյունից և մատուցումից, Z_p ցուցիչները փոխվում են հետևյալ սահմաններում՝

- P_z -ի դեպքում $Z_p = 0,35 \dots 0,1$,
- P_y -ի դեպքում $Z_p = 0,5 \dots 0,25$,
- P_x -ի դեպքում $Z_p = 0,5 \dots 0,3$:

Երբ կտրման V արագությունը մեծ է 400մ/րոպ–ից, ցանկացած նյութի մշակման ժամանակ, կտրման արագությունը գործնականում չի ազդում կտրման ուժի բաղադրիչների վրա և Z_p ցուցիչը ձգտում է 0-ի:

1.5. ՄՇԱԿՎՈՂ ՆՅՈՒԹԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԻ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ՎՐԱ

Մշակվող նյութի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունները էական ազդեցություն ունեն տաշեղահանման գործընթացի և նրան ուղեկցող դեֆորմացիաների վրա, հետևաբար՝ կտրման դիմադրության ուժի և նրա բաղադրիչների վրա: Բնչքան մեծ է մշակվող նյութի σ_B ամրության սահմանն ըստ ձգման և H_B կարծրությունը, այնքան մեծ են կտրման ուժի P_z , P_y և P_x

բաղադրիչները: Կարծր համաձուլվածքներով ամրանավորված կտրիչներով չմխված պողպատների մշակելիս կարելի է օգտվել P_z -ի որոշման հետևյալ արտահայտությունից.

$$P_z = C_1 \cdot \sigma_B^{0,35} \text{ կգ} \cdot \text{ուժ},$$

կարծր համաձուլվածքե կտրիչներով գորշ թուջեր մշակելիս.

$$P_z = C_2 \cdot H_B^{0,4} \text{ կգ} \cdot \text{ուժ},$$

որտեղ C_1 -ը և C_2 -ը հաստատուն գործակիցներ են:

Բերված կախվածությունները հնարավորություն են տալիս ունենալ հետևյալ հարաբերությունները.

$$\text{➤ պողպատների համար} \quad \frac{P_{z1}}{P_{z2}} = \left(\frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{B2}} \right)^{0,35}, \quad (1.16)$$

$$\text{➤ գորշ թուջերի համար.} \quad \frac{P_{z1}}{P_{z2}} = \left(\frac{H_{B1}}{H_{B2}} \right)^{0,4}: \quad (1.17)$$

Կարծր համաձուլվածքե թիթեղներով ամրանավորված և արագահատ պողպատներից պատրաստված կտրիչներով պողպատներ և թուջեր մշակելիս, (1.16) և (1.17) կախվածությունները կարելի է արտահայտել ավելի ընդհանուր տեսքով.

P_z , P_y , P_x բաղադրիչների որոշման համար.

ա) պողպատների մշակման դեպքում՝

$$P_i = C_{i1} \cdot \sigma_B^{n_P} \text{ կգ} \cdot \text{ուժ}, \quad (1.18)$$

բ) թուջերի մշակման դեպքում՝

$$P_i = C_{i2} \cdot (HB)^{n_P} \text{ կգ} \cdot \text{ուժ}: \quad (1.19)$$

Աղյուսակ 1.2-ում բերված են n_P աստիճանացույցի արժեքները ածխածնային կառուցվածքային, լեգիրված պողպատների և թուջերի մշակման ժամանակ:

1.6. ԿՏՐԻՉԻ ԵՐԿՐԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԻ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ՎՐԱ

Կտրման անկյան ազդեցությունը: Հայտնի է, որ կտրման δ անկյան մեծացումով (նույնն է γ անկյան փոքրացումով) մեծանում է տաշեղի ճնշումը կտրիչի վրա: Այդ երևույթի պատճառ են հանդիսանում սահքի անկյան փոքրացումը և տաշեղի դեֆորմացիայի, ինչպես նաև կտրիչի առջի մակերևույթի վրա շփման ուժերի

մեծացումը, որովհետև նշված դեպքում տաշեղն ավելի է շեղվում իր բնական ուղղությունից: Կտրիչի առջևի անկյան ազդեցությունը P_z, P_y և P_x բաղադրիչների վրա ներկայացված է նկ. 1.9-ում:

Աղյուսակ 1.2

n_p աստիճանացույցի արժեքները կտրման ուժի բաղադրիչների հաշվարկի համար

Մշակվող դետալի նյութը	n_p աստիճանացույցի արժեքները բանաձևում					
	P_z ուժի համար		P_y ուժի համար		P_x ուժի համար	
	Կարծր համա- ձուլ- վածք	Արագա- հատ պող- պատ	Կարծր համա- ձուլ- վածք	Արագա- հատ պող- պատ	Կարծր համա- ձուլ- վածք	Արագա- հատ պող- պատ
Պողպատ $\sigma_B < 60$ կգուժ/մմ ²	0,35	0,35	1,35	2	1	1,5
$\sigma_B > 60$ կգուժ/մմ ²	0,35	0,35	1,35	2	1	1,5
Թուջ	0,4	0,55	1	1,3	0,8	1,1

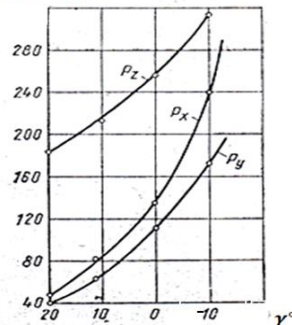
Տիմենի, Ջվորիկինի և իր հետազոտությունների հիման վրա Չեյյուստկինը արել է հետևյալ եզրակացությունը. $\delta = 60 \dots 90^\circ$ արժեքների սահմաններում, P_z կտրման ուժն ուղիղ համեմատական է կտրման δ անկյանը: Եթե $\delta = 75^\circ$ -ի դեպքում P_z -ն ընդունենք որպես միավոր, ապա կտրման անկյան ցանկացած արժեքի դեպքում կտրման ուժը կարելի է որոշել հետևյալ կախվածությամբ.

$$P_z = \frac{C_p \cdot t \cdot \delta \cdot S^{0,75}}{75}: \quad (1.20)$$

Պետք է ավելացնել, որ կտրման անկյան ազդեցության աստիճանը P_z -ի վրա փոքրանում է կտրման արագության մեծացումով: Դա բացատրվում է նրանով, որ կտրման բարձր արագությունների դեպքում շփումը, մակակոփվածքը և դեֆորմացիաները փոքրանում են, տաքացման հետևանքով տաշեղի պլաստիկությունը մեծանում է, և այդ պատճառով կտրման անկյան

մեծացումով կտրման ուժերն աճում են, բայց ավելի փոքր աստիճանով, քան ցածր արագությունների դեպքում:

P_z, P_y, P_x կգուծ



Նկ. 1.9. Առջևի անկյան ազդեցությունը P_z , P_y և P_x ուժերի վրա շրջատաշման ժամանակ (պտույտ 40, $\varphi = 60^\circ$, $t = 4$ մմ, $S=0,285$ մմ/պտ, $V=40$ մ/րոպ)

Կարծր համաձուլվածքներով ամրանալորված կտրիչներով պողպատների մշակման ժամանակ δ անկյան ազդեցությունը կտրման ուժի բաղադրիչների վրա, կարելի է ներկայացնել հետևյալ փորձնական կախվածություններով.

$$\begin{aligned} P_z &= C_1 \cdot \delta^{0,8 \pm 0,9}, \\ P_y &= C_2 \cdot \delta^{3,2 \pm 4,5}, \\ P_x &= C_3 \cdot \delta^{2,8 \pm 3,6}. \end{aligned}$$

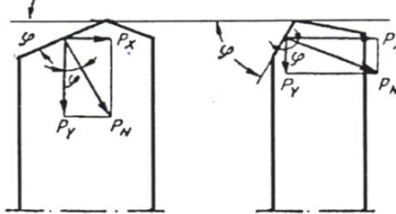
Ինչպես հետևում է բերված արտահայտություններից, կտրման անկյան մեծացումով P_y և P_x բաղադրիչներն աճում են ավելի ինտենսիվ, քան P_z գլխավոր բաղադրիչը:

Հատակագծի գլխավոր φ անկյան մեծության փոփոխությունը փոխում է կտրիչի գլխավոր կտրող եզրի դիրքը մատուցման ուղղության նկատմամբ, ինչպես նաև b/a հարաբերությունը: Նշված երկու դեպքերն էլ ազդում են կտրման ուժի բաղադրիչների մեծությունների վրա: Նկ. 1.10-ում ցույց է տրված P_y և P_x ուժերի կախվածությունը φ անկյան մեծությունից: Ինչպես հետևում է նկ. 1.10-ից, φ անկյան փոփոխությունն ազդում է P_y և P_x ուժերի մեծությունների վրա.

$$P_y = P_N \cdot \cos \varphi,$$

$$P_x = P_N \cdot \sin \varphi,$$

այսինքն, հատակագծում գլխավոր φ անկյան մեծացումով P_y ուժը կտրուկ փոքրանում է, P_x ուժը՝ մեծանում:

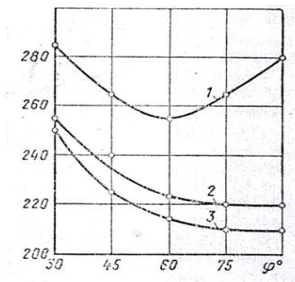


Նկ. 1.10. φ անկյան փոփոխության ազդեցությունը P_y և P_x բաղադրիչների վրա շրջատաշման ժամանակ

Հատակագծում գլխավոր φ անկյան մեծացումը՝ t -ի և s -ի հաստատունության դեպքում, բերում է b/a հարաբերության փոքրացմանը, որն իր հերթին պետք է բերի P_z ուժի անընդհատ փոքրացմանը:

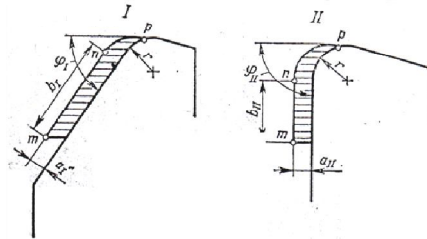
Ասվածը հաստատվում է փորձով՝ տարբեր մետաղների ազատ կտրմամբ շրջատաշման և ոչ ազատ կտրմամբ թուջի շրջատաշման դեպքերում: Ինչպես երևում է նկ. 1.11-ից, նույն երևույթը տեղ ունի նաև առանց անցումային կտրող եզրի կտրիչով պողպատի ոչ ազատ կտրման դեպքում (2 կորը):

Քշ. կգուծ



Նկ. 1.11. Շրջատաշման ժամանակ հատակագծում գլխավոր φ անկյան ազդեցությունը P_z ուժի վրա (պողպատ, $t = 2$ մմ, $S=0,48$ մմ/պտ). 1 - ոչ ազատ կտրում՝ $V=40$ մ/րոպ, $r = 2$ մմ, 2 - ոչ ազատ կտրում՝ $V=40$ մ/րոպ, $r = 0$, 3 - ազատ կտրում՝ $V=44$ մ/րոպ

Անցումային եզրով կտրիչով ($r = 2$ մմ) ոչ ազատ կտրման ժամանակ, սկսած $\varphi = 60^\circ$ -ից, P_z ուժը չի նվազում, այլ աճում է: P_z ուժի վրա φ անկյան ազդեցության ոչ միալարությունը կախված է երկու հակառակ երևույթներից. 1. φ անկյան մեծացման ժամանակ b/a հարաբերությունը փոքրանում է, 2. φ անկյան մեծացման ժամանակ մեծանում է կտրող եզրի անցումային կորագծի երկարության հարաբերությունը գլխավոր կտրող եզրի աշխատանքային երկարությունը (նկ. 1.12):



Նկ. 1.12. Հատակագծում գլխավոր φ անկյան ազդեցությունը անցումային եզրի երկարության և գլխավոր եզրի երկարության հարաբերության վրա

Նկ. 1.12-ից երևում է, որ $b_{II} < b_I$, $a_{II} > a_I$ և $\frac{b_{II}}{a_{II}} < \frac{b_I}{a_I}$: Ուղղագիծ կտրող եզրի համար b/a հարաբերության փոքրացումը, որն առաջանում է φ անկյան մեծացումով, փոքրացնում է P_z ուժը: Բայց n_p/m_n հարաբերության մեծացման հետևանքով մեծանում է անցումային աղեղաձև եզրի դերը, որի վրա դեֆորմացման պայմանները և տաշեղի կտրումը ավելի ծանր են, քան գլխավոր եզրի վրա: Տաշեղի երկայնական շերտերն առջևի մակերևույթի վրա տեղաշարժվելով անցումային եզրին ուղղահայաց ուղղություններով, խանգարում են միմյանց, մեծացնում են կտրվող շերտի դեֆորմացման աստիճանը, ինչը, վերջնական արդյունքում, բերում է P_z ուժի մեծացմանը: Պողպատների մշակման ժամանակ, երբ $\varphi < 50 \dots 60^\circ$, գերակշռում է b/a հարաբերության փոքրացման ազդեցությունը, իսկ $\varphi > 60^\circ$ -ի դեպքում, գերակշռում է տաշեղա-հանման պայմանների վատացման երևույթը: Փխրուն նյութերի մշակման ժամանակ անցումային եզրի բացասական դերն աննշան

է, որովհետև տաշեղը բեկված է և դեֆորմացման աստիճանը՝ շատ փոքր:

Հատակագծում գլխավոր φ անկյան ազդեցությունը կտրման ուժի բաղադրիչների վրա արտահայտվում է հետևյալ կախվածություններով.

➤ պողպատների մշակման ժամանակ

$$P_z = \frac{C_1}{\varphi^{0,16}}, \text{ երբ } \varphi = 30 \dots 50^\circ,$$

$$P_z = C_2 \cdot \varphi^{0,22}, \text{ երբ } \varphi = 50 \dots 90^\circ,$$

$$P_y = \frac{C_3}{\varphi^{1,03}}, \text{ երբ } \varphi = 30 \dots 50^\circ,$$

$$P_y = \frac{C_4}{\varphi^{0,86}}, \text{ երբ } \varphi = 50 \dots 90^\circ,$$

$$P_x = C_5 \cdot \varphi^{0,72}, \text{ երբ } \varphi = 30 \dots 90^\circ:$$

➤ թուջերի մշակման ժամանակ

$$P_z = \frac{C_6}{\varphi^{0,13}}, \quad P_y = \frac{C_7}{\varphi^{0,51}},$$

$$P_x = C_8 \cdot \varphi^{1,08}, \text{ երբ } \varphi = 30 \dots 45^\circ,$$

$$P_x = C_9 \cdot \varphi^{0,35}, \text{ երբ } \varphi = 45 \dots 90^\circ:$$

Գլխավոր կտրող եզրի թեքման լանկյունը փոխում է կտրիչի առջևի մակերևույթի դիրքը կոորդինատային առանցքների նկատմամբ, մեծացնում է գլխավոր եզրի աշխատանքային երկարությունը և կախված դրական կամ բացասական նշանից, մեծանում կամ փոքրանում է տաշեղի կծկման գործակիցը: λ անկյան փոփոխությունը փոքր ազդեցություն ունի կտրման ուժի գլխավոր բաղադրիչի վրա (նկ. 1.13): Այդ ազդեցությունը որոշ չափով ավելանում է, երբ տեղի ունի՝ $\lambda \geq +30^\circ$: Քանի որ խառատային կտրիչների λ անկյան փոփոխությունը չի անցնում $\lambda = \pm 10^\circ$ սահմաններից, ապա նրա ազդեցությունը P_z -ի վրա կարելի է անտեսել: P_y և P_x ուժերի վրա λ անկյան բացասական արժեքներից դրական արժեքների անցումն ուղեկցվում է շաղավղային ուժի մեծացումով և առանցքային ուժի փոքրացումով: Ընդունվում է, որ ածխածնային պողպատի մշակման ժամանակ դրական λ անկյան ազդեցությունը կտրման ուժի բաղադրիչների վրա արտահայտվում է հետևյալ կախվածություններով.

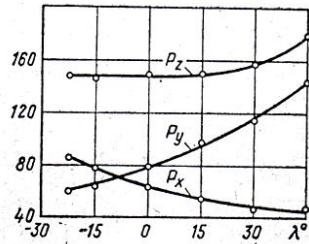
$$P_z = P_{z0}(1 + 0,007\lambda),$$

$$P_y = P_{y0}(1 + 0,02\lambda),$$

$$P_x = P_{x0}(1 - 0,01\lambda),$$

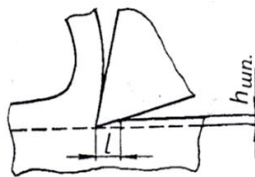
որտեղ P_{z0} , P_{y0} , P_{x0} ուժերի արժեքներն են $\lambda = 0^\circ$ -ի դեպքում:

P, կգուծ



Նկ. 1.13. *Գլխավոր եզրի թեքման անկյան ազդեցությունը P_z , P_y և P_x ուժերի վրա (պողպատ 45, $\varphi = 45^\circ$, $t = 3$ մմ, $S=0,307$ մմ/պտ, $V=143$ մ/րոպ)*

Հետին գլխավոր α անկյան ազդեցությունը կտրման ուժերի վրա կախված է մշակվող նախապատրաստվածքի առաձգականությունից: α անկյան փոքրացումով մեծանում է գործիքի հետին մակերևույթի հպումը մշակվող նախապատրաստվածքի հետ, որը բերում է շփման նկատման ուժերի աճին: Դրան նպաստում է նաև այն հանգամանքը, որ մշակումից հետո մշակված մակերևույթը, առաձգականության շնորհիվ, որոշակի $h_{տն}$ չափով բարձրանում է, առաջացնելով գործիքի և մշակվող դետալի միջև l երկարությամբ լրացուցիչ հպման հարթակ (նկ. 1.14): Ինչքան մեծ է α անկյունը, այնքան փոքր է հպման l երկարությունը և կտրման P_z ուժը: Նշենք, որ α անկյան ազդման ուժգնությունը կտրման ուժի վրա մեծ չէ:



Նկ. 1.14. *Գործիքի հետին մակերևույթի և դետալի հպման l հարթակը*

Հետին α անկյան 2-ից մինչև 10° մեծացումով, P_z ուժը փոքրանում է 6, իսկ P_y -ը՝ 17%-ով: α անկյան հետագա մեծացման

դեպքում կտրման ուժի բաղադրիչների մեծությունները զգալի փոփոխություններ չեն կրում: Կտրիչի այլ տարրերը (հետին օժանդակ α_1 անկյունը, φ_1 անկյունը պլանում) կտրման ուժերի վրա նկատելի ազդեցություն չունեն:

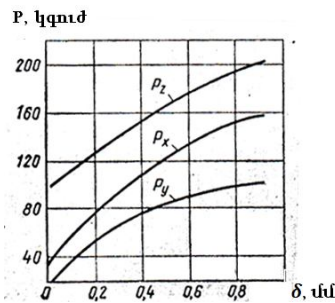
1.7. ԳՈՐԾԻՔԱՆՅՈՒԹԻ ԵՎ ԿՏՐԻՉԻ ՄԱՇՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԻ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ՎՐԱ

Այս ազդեցությունը կարող է առաջանալ միայն գործիքանյութերի և մշակվող նյութերի միջև առաջացող շփման ուժերի (շփման գործակիցների) տարբերություններից: Արագահատ պողպատների և վոլֆրամակոբալտային խմբերի ներսում շփման և կծկման գործակիցները չեն տարբերվում, հետևաբար, P_z ուժը փոփոխության չի ենթարկվում: Վոլֆրամատիտանակոբալտային կարծր համաձուլվածքներով ամրանավորված գործիքներով մշակման ժամանակ, P_z ուժը որոշ չափով փոքրանում է տիտանի կարբիդի (TiC) ավելացումով: Համեմատման համար նշենք, որ եթե արագահատ պողպատից պատրաստված գործիքով մշակման ժամանակ ընդունենք $P_z = 1$, ապա նույն պայմաններում աշխատող կարծր համաձուլվածքի BK խմբի գործիքանյութի դեպքում նույնպես P_z -ը կլինի հավասար 1-ի, TK խմբի դեպքում՝ $P_z = 0,9...0,95$, իսկ միներալակերամիկական գործիքանյութով մշակելիս՝ $P_z = 0,88...0,9$:

Կտրիչի մաշման հետևանքով փոխվում է առջևի և հետին մակերևույթների ձևը, իսկ գլխավոր կտրող եզրը կորցնում է իր սրությունը: Եթե կտրիչի առջևի մակերևույթի վրա չկա լավ զարգացած մակաճ, ապա գործիքի բթացումն ուղեկցվում է կտրման ուժի բաղադրիչների մեծացմամբ (նկ. 1.15): Կտրիչի միայն հետին մակերևույթով մաշման դեպքում P_z , P_y և P_x բաղադրիչներն անընդհատ աճում են, ընդ որում, հատկապես կտրուկ աճում են P_y և P_x բաղադրիչները (նկ. 1.15):

Եթե միաժամանակ մաշման են ենթարկվում գործիքի առջևի և հետին մակերևույթները, ապա պողպատների մշակման ժամանակ

կտրման ուժի P_z , P_y և P_x բաղադրիչները, սկզբնական փուլում մնում են հաստատուն: Այդ բացատրվում է նրանով, որ հետին մակերևույթով մաշման հարթակի մեծացման և գլխավոր կտրող եզրի մաշման հաշվին ուժերի մեծացումը փոխհատուցվում է առջևի մակերևույթի վրա փոսիկ առաջանալու պատճառով γ անկյան մեծացմամբ:



Նկ. 1.15. Կտրիչի միայն հետին մակերևույթով մաշման ժամանակ կտրիչի բթացման ազդեցությունը P_z , P_y և P_x ուժերի վրա (պողպատ 40, $\varphi = 60^\circ$, $t = 4$ մմ, $S=0,106$ մմ/սյտ, $V=196$ մ/րոպ)

Գործիքի հետագա մաշման դեպքում P_z , P_y և P_x ուժերը նորից սկսում են մեծանալ: Լավ զարգացած մակաճը, կատարելով կտրող սեպի դեր, ծածկում է գործիքի աշխատանքային մակերևույթները, և նրանց փոքրմաշումները զգալի կերպով չեն ազդում կտրման բաղադրիչ ուժերի մեծությունների վրա: Կտրման ուժերի վրա մաշման մեծության ազդեցության աստիճանի քանակական գնահատականը տրվում է առանձին գործակցով, որի մեծությունը բերված է համապատասխան տեղեկատվությունների մեջ:

1.8. ՔՍՈՒՔԱՀՈՎԱՑՆՈՂ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ (Ք.Հ.Հ.)

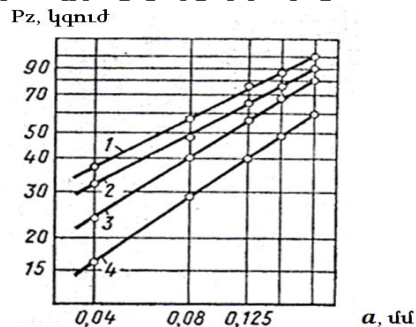
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԻ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ՎՐԱ

Բարձր յուղման հատկություններով օժտված ք.հ.հ.-ի օգտագործումը հեշտացնում է տաշեղագոյացման պայմանները, փոքրացնում տաշեղի կծկման գործակիցը և հարաբերական սահքի

մեծությունը: Այդ հիմնականում կապված է գործիքի առջևի մակերևույթի վրա շփման գործակցի միջին արժեքի փոքրացման հետ: Ք.հ.հ.-ի օգտագործման դեպքում, շնորհիվ տաշեղագոյացման պայմանների լավացման, կտրման ուժի բաղադրիչները փոքրանում են:

Ք.հ.հ.-ի օգտագործումով կտրման ուժի բաղադրիչների փոքրացման արդյունավետությունը կախված է հեղուկի շփման գործակցի փոքրացման հատկությունից և նրա, այսպես կոչված, «բեռնաբարձությունից», որը որոշակի նորմալ ճնշման տակ, շփվող մակերեսային շերտերի սահմանային շերտով բաժանելու հատկությունն է:

Բերված նկ. 1.16-ից և 1.17-ից երևում է, որ P_z ուժը մեծ չափով փոքրացնում են քիմիապես ակտիվ հեղուկները՝ քառաքլորային ածխածինը, էթիլային սպիրտը, ջուրը, կերոսինը:

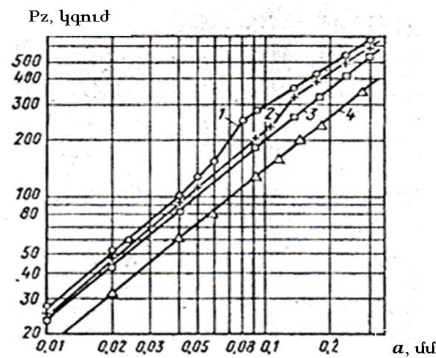


Նկ. 1.16. Տարբեր ք.հ.հ.-ների ազդեցությունը P_z ուժի վրա շրջատաշման ժամանակ (պողպատ 20, $V=6,5$ մ/րոպ).

1 - չոր, 2 - կերոսին, 3 - էմուլսիա, 4 - ակտիվացված կերոսին

Ք.հ.հ.-ների յուղման հատկությունները միայն շփման փոքրացումով չեն սահմանափակվում: Քսուքի օգտագործման ժամանակ կտրիչի վրա բեռնվածության փոքրացումը կարելի է բացատրել նաև մակակլանման (ադսորբցիա) հետևանքով կարծրության փոքրացումով: Այդ երևույթի հետազոտման հիման վրա Պ.Ա. Ռեբինդերի կողմից առաջարկված է տարբեր արտադրական գործընթացների կատարման ֆիզիկա-քիմիական եղանակներ (տարբեր լեռնային ապարների քայքայում, մետաղների կտրում, ողորկում և այլն): Մակակլանման էությունը կայանում է

նրանում, որ ցանկացած պինդ մարմնի մակերևույթ, անկախ նրա մաքրության աստիճանից, ունի փոքրագույն միկրոճեղքեր, որոնցում *p.h.h.*-ի մասնիկներն իրականացնում են սեպաճեղքման ազդեցություն: Այդ, այսպես կոչված, նրբամանրումը (քայքայումը), որը սկսվում է մակերևույթից, կարող է ուժեղացվել, եթե հեղուկը հարստացվի մակերևութային ակտիվ հավելանյութերով: Այդ դեպքում նկատելի է նաև պլաստիկ հոսքի արագացում: Այս ամենի արդյունքում կտրման գործընթացը բավականին հեշտանում է:



Նկ. 1.17. Տարբեր *p.h.h.*-ների ազդեցությունը P_z ուժի վրա (պողպատ 20X, $\gamma = 20^\circ$, $b = 10$ մմ, $V=0,75$ մ/րոպ). 1 – չոր, 2 – վերեսի խոն յուղ, 3 – ջուր, 4 – քառաքլորային ածխածին

Ինչքան մեծ է հեղուկի յուղող հատկությունը, այնքան նկատելի է կտրման ուժի փոքրացումը: Օրինակ, համեմատաբար փոքր արագությամբ ($V < 40$ մ/րոպ) մշակման ժամանակ, հանքային յուղի օգտագործման դեպքում P_z -ը փոքրանում է 12...15%-ով, բուսական յուղերի օգտագործման դեպքում՝ 20...25%-ով: Գործիքի հետին մակերևույթի վրա շփման ուժերի և P_z ուժի համապատասխան փոքրացումով նկատելիորեն մեծանում է P_y բաղադրիչը, որն ուղղահայաց է մշակված մակերևութին: Արդյունքում, մշակված մակերևույթի վրա մեծանում է մնացորդային սեղմման լարումը, որը նպաստում է մշակված դետալի ամրության մեծացմանը: Այդ ազդեցությունն ավելի է մեծանում բացասական

առջևի անկյուն և կտրող եզրի նշանակալի կլորացման շառավիղ ունեցող կտրիչով մշակման դեպքում:

Ք.հ.հ.-ի օգտագործումով կտրման ուժի փոքրացումը պետք է լինի այնքան նկատելի, ինչքան մեծ է մշակվող նյութի պլաստիկությունը, որովհետև այդ դեպքում աճում է տաշեղի և կտրիչի շփման ուժը, և, հետևաբար, յուղման արդյունավետությունը պետք է մեծանա: Ք.հ.հ.-ի օգտագործման ազդեցությունը փոքրանում է կտրվող շերտի հաստության և կտրման արագության մեծացումով: Հանվող շերտի հաստության մեծացման դեպքում հպատեղային լարումները մեծանում են, որը բերում է ք.հ.հ.-ի տեղական խզման և կտրիչի առջևի մակերևույթի ու տաշեղի միջև չոր շփման առաջացման: Կտրման արագության մեծացման ժամանակ, կտրման բարձր ջերմաստիճանի պատճառով, ք.հ.հ.-ի թաղանթները մասնակիորեն խզվում են և նույնպես առաջանում է չոր շփում:

Տարբեր քսուքահովացնող հեղուկների օգտագործման դեպքում կտրման ուժի գլխավոր բաղադրիչի փոքրացումը գնահատվում է ճշգրտման K_w ուժային գործակցով, որի մեծությունը, տարբեր պողպատներ մշակելիս տատանվում է 0,97...0,75-ի սահմաններում:

1.9. ՇՐՋԱՏԱՇՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԻ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ԲԱՆԱԶԵՎԵՐԸ

Տարբեր հաշվարկների ժամանակ անհրաժեշտ է ունենալ ընդհանրացված բանաձևեր, որոնցում կտրող ուժի բաղադրիչները միաժամանակ կապված են բոլոր գործոնների հետ: Ընդհանրացված բանաձևերի կիրառումը ցույց է տվել, որ կտրման ռեիմները (V , S , t) նպատակահարմար է բանաձևերում հաշվի առնել անմիջապես, իսկ մնացած ազդող գործոնները՝ անուղղակի ձևով (ճշգրտող գործակիցների միջոցով): Բանաձևի մեջ ներմուծվում են միայն այն ճշտող գործոնները, որոնք բավականին ուժեղ ազդեցություն ունեն հաշվարկվող ուժի մեծության վրա և որոնց որոշումը արտադրական

պայմաններում կապված չէ մեծ դժվարությունների հետ: Օրինակ, կտրող ուժի գլխավոր բաղադրիչի հաշվարկի բանաձևն ունի հետևյալ տեսքը.

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{x_P} \cdot S^{y_P} \cdot V^{z_P} \cdot K_P, \quad (1.21)$$

որտեղ K_P -ն ընդհանրացված ճշգրտող ուժային գործակից է կտրող ուժի և այն ճշգրտող գործակիցների արտադրյալով, որոնցից յուրաքանչյուրն արտահայտում է կտրման պայմանների ազդեցությունը կտրման ուժի մեծության վրա.

$$K_P = K_M \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_r \cdot K_w \cdot K_\sigma,$$

որտեղ K_M - մշակվող նյութի ամրությունը կամ կարծրությունը, K_φ - պլանում գլխավոր անկյան մեծությունը, K_γ - առջևի անկյան մոծությունը, K_r - անցումային եզրի շառավիղը, K_w - օգտագործվող ք.հ.հ.-ն, K_σ - կտրիչի հետին մակերևույթի մաշման աստիճանը:

C_{P_z} հաստատունը հաշվի է առնում P_z ուժի վրա ազդող կտրման որոշ հաստատուն պայմանները, մասնավորապես այնպիսիները, որոնց համար ճշտող ուժային գործակիցները ընդունված են հավասար մեկի: Այդ պայմանները ընտրվում են կամավոր կերպով: Օրինակ, C_{P_z} գործակիցը համապատասխանում է հետևյալ պայմաններին.

1. պողպատների մշակում, որոնց $\sigma_b = 75 \text{ կգ} \cdot \text{ուժ}/\text{մմ}^2$, թուջերի և կոեղի թուջերի մշակում, որոնք ունեն համապատասխանաբար $HB190$ և $HB150$ կարծրություններ,

2. գլխավոր անկյունը պլանում՝ $\varphi = 45^\circ$, առջևի անկյունը՝ $\gamma = \gamma_{օպտ}$,

3. անցումային եզրի շառավիղը $r = 3 \text{ մմ}$,

4. կարծր համաձուլվածքե կտրիչով մշակման դեպքում հետին մակերևույթի մաշման չափը՝ $\delta = 0,4 \text{ մմ}$:

5. մշակում առանց ք.հ.հ.-ի օգտագործման: Այսպիսի պայմանների համար ընդունված է համարել, որ ճշգրտման գործակիցները հավասար են մեկի: Նույն բանը կարելի է ասել նաև P_x և P_y բաղադրիչների համար:

Ճշգրտման ուժային գործակիցները որոշվում են հետևյալ ձևով: Որպես օրինակ, դիտարկենք K_M գործակցի որոշումը, որը հաշվի է առնում պողպատից պատրաստվող դետալի ամրությունը:

Ցանկացած σ_B ամրության դեպքում՝ $P_z = C_{15} \cdot \sigma_B^{n_P}$: Երբ $\sigma_B = 75$ կգուծ/մմ², K_M ճշգրտման գործակիցն ընդունվում է հավասար մեկի և այդ դեպքում $P_{275} = C_{15} \cdot 75^{n_P}$: Առաջին արտահայտությունը բաժանելով երկրորդի վրա, կստանանք՝

$$\frac{P_z}{P_{275}} = \frac{\sigma_B^{n_P}}{75^{n_P}}:$$

Այստեղից.

$$P_z = P_{275} \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^{n_P}:$$

Ակնհայտ է, որ $K_M = \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^{n_P}$:

Արագացված հաշվարկների համար կտրման ռեժիմների վերաբերյալ տեղեկատվություն կան աղյուսակներ, որոնցում բերված են ճշգրտված ուժային գործակիցների մեծությունները: Փորձնական եղանակով ստացված կախվածությունների հիմնական թերությունը կայանում է նրանում, որ նրանցում հաշվի չեն առնված տարբեր գործոնների փոխկապվածությունների ազդեցությունները կտրման ուժերի բաղադրիչների վրա: Փորձերը ցույց են տալիս, որ շատ դեպքերում մեկ գործոնի ազդեցությունը կարող է զգալի չափով փոխվել՝ կախված այլ գործոններից: Հետևաբար, որպեսզի անսխալ կերպով որոշվի որևէ գործոնի ազդեցությունը կտրման ուժի բաղադրիչների վրա, անհրաժեշտ է փորձնականորեն ստանալ այնքան մասնավոր կախվածություններ, ինչքան որ կարելի է ստանալ մնացած գործոնների հնարավոր համակցությունների դեպքում: Գործնականում այդ անհնար է իրագործել, որի պատճառով փորձնական բանաձևերի ստացման ժամանակ ընդունում են, որ մեկ գործոնի ազդեցությունը կախված չէ մնացածներից: Մի շարք դեպքերում այդ մոտեցումը բերում է նշանակալի սխալների առաջացման: Չնայած ուժերի տեսական բանաձևերի ստացման ժամանակ առկա տարբեր մոտեցումների (Վ.Ա.Կրիվատով, Թ.Ն. Լոլաձե, Ա.Մ.Ռոզենբերգ, Ն.Ն. Ջորև և այլք), նրանք բոլորը հիմնվում են այն դրույթի վրա, ըստ որի կտրման գործընթացը հանդիսանում է պլաստիկ դեֆորմացիայի օրենքներին ենթարկվող գործընթացի տարատեսակ, որոնք տեղի ունեն ձգման, սեղմման, ոլորման և այլնի դեպքերում: Ասվածը, հնարավորություն է տալիս կտրման ուժերի բաղադրիչները մշակվող նյութի ֆիզիկա-

մելիանիկական բնութագրերին և կտրման ռեժիմի պարամետրերին կապող բանաձևերը կառուցել պլաստիկ դեֆորմացիաների օրենքների հիման վրա, որոնք ընդհանուր են տարբեր տեսակի դեֆորմացիաների դեպքերում:

Դիտարկենք կտրման P_z բաղադրիչի որոշման արտահայտությունը, որը հիմնված է կտրման և սեղմման կամ ձգման ժամանակ հավասար աստիճանի դեֆորմացիաների դեպքում շոշափող լարումների հավասարության վրա [Զորև]:

Ըստ Ն.Ն. Զորևի [5]-ի.

$$P_z = \tau \cdot \frac{a \cdot b}{\sin \beta} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos(\omega + \beta)} : \quad (1.22)$$

Քանի որ.

$$\frac{\cos \omega}{\sin \beta \cdot \cos(\omega + \beta)} = \frac{\cos[(\omega + \beta) - \beta]}{\sin \beta \cdot \cos(\omega + \beta)} = \operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg}(\omega + \beta),$$

ապա.

$$P_z = \tau \cdot a \cdot b \cdot [\operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg}(\omega + \beta)]: \quad (1.23)$$

Ազդման ω և սահքի β անկյունները փոխկապված են և ω -ի մեծացումը միշտ ուղեկցվում է β -ի փոքրացումով: Ն.Ն. Զորևի բազմաթիվ հետազոտություններով հաստատված է, որ գործնականում նշված անկյունների գումարը փոխվում է շատ փոքր չափով և այն կարելի է ընդունել հաստատուն: Այսինքն.

$$\omega + \beta = C:$$

Քանի որ $\operatorname{ctg} \beta = \frac{K_L - \sin \gamma}{\cos \gamma}$, ապա.

$$P_z = \tau \cdot a \cdot b \cdot \left(\frac{K_L - \sin \gamma}{\cos \gamma} + \operatorname{tg} C \right):$$

C հաստատունը կարող է ընդունել հետևյալ արժեքները.

1. ածխածնային կառուցվածքային պողպատների մշակում՝

$C = 40^\circ$ - ածխածնի պարունակությունը մինչև 0,15%,

$C = 46^\circ$ - ածխածնի պարունակությունը՝ 0,15%...0,5%,

2. $C = 50^\circ$ - ցածր և բարձր լեգիրված պողպատների մշակում,

3. եթե առջևի γ անկյունը մեծ է 20° - ից, իսկ կտրող շերտի a հաստությունը մեծ է 0,08մմ-ից, ապա C -ի մեծությունը պետք է փոքրացնել 4° - ով:

Այսպիսով, P_z ուժի որոշման համար անհրաժեշտ է ունենալ տաշեղի կծկման K_L գործակիցը և սահքի պայմանական

հարթության վրա τ շոշափող լարումը: Տաշեղի կծկման գործակիցը որոշվում է փորձով՝ կտրումով մշակմամբ, իսկ τ – ի մեծությունը կարելի է ստանալ մշակվող նյութը ենթարկելով ձգման կամ սեղմման մեխանիկական փորձարկման: Մեխանիկական փորձարկումներով ստացված τ^* շոշափող լարման և ε իրական սահքի միջև կապը լավ նկարագրվում է պոլիտրոպիկ կախվածությամբ՝ $\tau^* = A \cdot \varepsilon^m$: Եթե այս կախվածությունն արտարկենք կտրման գործակցին յուրահատուկ դեֆորմացիաների տիրույթում, ապա $\varepsilon \approx 2,5$ -ի դեպքում մեխանիկական փորձարկումով որոշված սահքի լարումները մոտ են կտրման ժամանակ սահքի լարումներին և սահքի պայմանական հարթության վրա շոշափող լարումների որոշման համար կարելի է օգտվել $\tau^* = A \cdot 2,5^m$ կախվածությունից: Տարբեր նյութերի տարբեր կտրման պայմաններում փորձարկումները տալիս են բավարար արդյունքներ: Նշանակելով $A \cdot 2,5^m = A_{2,5}$, կունենանք.

$$P_z = A_{2,5} \cdot \left(\frac{K_L - \sin \gamma}{\cos \gamma} + tg C \right) \cdot a \cdot b: \quad (1.24)$$

Բացի կոնկրետ նյութի մշակման ժամանակ մեխանիկական փորձարկման եղանակից, Ն.Ն.Զորնի կողմից առաջարկված է նաև կախվածություն, ըստ որի, ելնելով մշակվող նյութի ստանդարտ մեխանիկական բնութագրերից, կարելի է որոշել $A_{2,5}$ -ը: Եթե հայտնի են σ_B ամրության սահմանը և նյութի լայնական հատույթի հավասարաչափ հարաբերական Ψ_B նեղացումը, ապա՝

$$A_{2,5} = \frac{0,6\sigma_B}{1 - 1,7\Psi_B}:$$

Անհայտ Ψ_B -ի դեպքում կարելի է օգտվել $A_{2,5}$ -ի և σ_B -ի միջև եղած մոտավոր հարաբերակցությունից, որն ունի հետևյալ տեսքը.

➤ $A_{2,5} \approx \sigma_B$ - թրծաթողած կաառուցվածքային ածխածնային և առաստենիտային պողպատների համար.

➤ $A_{2,5} \approx 0,9\sigma_B$ - նորմալացված և բարելավված ածխածնային պողպատների, ինչպես նաև լեգիրված պողպատների համար,

➤ $A_{2,5} \approx 0,8\sigma_B$ - մխված պողպատների դեպքում:

Այսպիսով, կտրվող շերտի հայտնի հաստության և լայնության դեպքում, P_z ուժի որոշման համար, կտրումով մշակման փորձերից որոշվում է տաշեղի կծկման գործակիցը, իսկ մշակվող նյութի

նմուշի ձգման իսկական լարումների կորից՝ $A_{2,5}$ մեխանիկական բնութագիրը: Ունենալով կտրման ուժի P_z գլխավոր բաղադրիչը, կարելի է որոշել P_y և P_x բաղադրիչները:

Ի տարբերություն փորձական կախվածությունների, (1.24) բանաձևն ունի լրիվ որոշակի ֆիզիկական իմաստ: Կտրման P_z գլխավոր բաղադրիչը որոշվում է կտրվող շերտի չափերով, գործիքի առջևի անկյունով, մշակվող նյութի մեխանիկական հատկություններով և K_L գործակցով, որը բնութագրում է կտրվող շերտի դեֆորմացման աստիճանը: Բոլոր այն գործոնները, որոնք մեծացնում են կծկման գործակիցը, մեծացնում են P_z ուժը և հակառակը: Քանի որ (1.24) բանաձևի մեջ մտնում են ֆիզիկական բնութագրեր, ապա այն արդարացի է կտրվող շերտի ցանկացած հաստության և լայնության արժեքների և կտրման արագությունների համար:

1.10. ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՓՈՐՁԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

Մետաղների մշակման ներկայիս գործընթացների ուսումնասիրման համար անհրաժեշտ են բարձր ճշտության վերափոխող, գրանցող և չափող սարքեր: Օպտիկայի, էլեկտրականության, մագնիսականության, չափման տեխնիկայի և այլ բնագավառների մի շարք ֆիզիկական երևույթների օգտագործման հետևանքով, կտրման ուժերի չափումը վերջին ժամանակներում փավականին առաջընթաց է գրանցել:

Ժամանակակից բարձր զգայունության էլեկտրական սարքերը կարող են ապահովել չափման անհրաժեշտ ճշտություն միայն բարձրորակ սպասարկման հետևանքով: Այդ պատճառով, երբ չի պահանջվում արագ փոփոխվող ուժերի գրանցում, կարելի է օգտագործել հասարակ մեխանիկական կամ հիդրավլիկական ուժաչափեր (դինամոմետրեր), որոնք իրենց բոլոր թերություններով հանդերձ, տարբերվում են շահագործման կայունությամբ և պարզությամբ, ապահովելով հուսալի արդյունքներ:

Գործնականում, կտրման ուժերի չափման համար երբեմն օգտագործվում են ավելի հասարակ միջոցներ - վատտմետրեր, հաստոցի օգտագործած էներգիայի ծախսի գրանցման համար: Այս եղանակը արտադրական պայմաններում կարելի է կիրառել, եթե հայտնի է հաստոցի օ.գ.գ.-ն: Կտրման ուժերի չափման անուղղակի եղանակներից է նաև հաստոցի իլի վրա տեղադրված արգելակման սարքի օգտագործման միջոցով կտրման ուժի P_z բաղադրիչի չափման եղանակը:

Նշված եղանակները շահագործման համար շատ պարզ են, չեն պահանջում թանկարժեք, հատուկ սորքավորումներ, բայց չեն ապահովում չափման բարձր ճշտություն: Ուժերի չափման, այդ թվում նաև հարվածի ուժի, տարբեր եղանակներ ուսումնասիրված և առաջարկված են Ն. Ն. Դավիդենկովի կողմից: Ուժերի չափման եղանակները նա բաժանել է երկու հիմնական խմբի [10]՝ ստատիկական և կինեմատիկական:

Ստատիկ եղանակը կապված է ուժաչափերի (դինամոմետր) կիրառման հետ: Կինեմատիկական եղանակը հիմնված է տեղաշարժերի լուսագրանցման (ֆոտոգրանցում) վրա, արագ կինոնկարահանման խցիկի օգտագործմամբ:

Ուժերի չափման ստատիկական եղանակը, կախված օգտագործվող ուժաչափի տեսակից և սեփական տատանումների հաճախությունից, կարող է ապահովել չափման բարձր ճշտություն: Իրագործման որոշակի բարդության պատճառով կինեմատիկական եղանակն ունի համեմատաբար ավելի փոքր կիրառություն, բայց ապահովում է բարձր ճշտություն, ի հաշիվ նկարահանվող մեկ կադրի շատ փոքր տևողության (մի քանի հազար կադր/վրկ): Կախված չափման ճշտությանը ներկայացված պահանջներից, կինեմատիկական եղանակը կարող է օտգագործվել ուժաչափի, արագացման պիեզոտվիչի, ինչպես նաև կտրիչ-տվիչի հետ միասին՝ տարբեր համակցություններով [29]:

Ուժաչափերին ներկայացվում են հետևյալ հիմնական պահանջները.

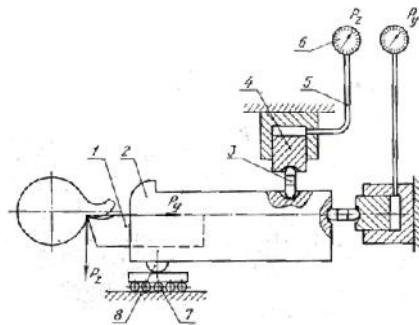
1. Կտրման ուժերի չափման համար ուժաչափի չափման ճշտությունը (ըստ առաջադրված խնդրի):

2. Կտրման գործընթացում արագ փոփոխվող ուժերի գրանցման և չափման համար ուժաչափը պետք է օժտված լինի փոքր իներցիոնությամբ: Այդ պատճառով ուժաչափի տատանման սեփական հաճախությունը պետք է նշանակալի չափով մեծ լինի չափվող ուժի փոփոխման հաճախությունից:

3. Ուժաչափը պետք է ունենա բարձր թրթռակայունություն՝ ցանկացած կտրման արագության դեպքում: Դրա համար ուժաչափի առաձգական տարրերը պետք է ունենան առավելագույն կոշտություն:

4. Ուժաչափում պետք է բացակայեն կտրման ուժի բաղադրիչների փոխազդեցությունները:

Ըստ գործողության սկզբունքի տարբերվում են հիդրավլիկական, մեխանիկական և էլեկտրական ուժաչափեր: Հիդրավլիկական ուժաչափն ունի հետևյալ կառուցվածքը (նկ. 1.18). 1 կտրիչը ամրացված է 2 ճոճանում, որը կարող է ճոճվել 8 հենարանի նկատմամբ, ինչպես նաև հորիզոնական ուղղությամբ տեղաշարժվել 7 գնդիկներիվրայով: P_z ուժի ազդեցության տակ ճոճանը ձգտում է պտտվել և 3 ձողի միջոցով ձնշում է 4 մխոցի վրա: Վերջինս, ձնշման տակ, դուրս է մղում հեղուկը (գլիցերինը) 5 փողակի միջով՝ 6 մանոմետրի մեջ, որը կապված է ինքնազրիչ մեխանիզմի հետ: Կտրման ուժի P_y բաղադրիչը չափվում է անալոգ եղանակով:

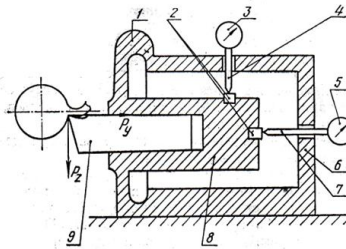


Նկ. 1.18. Հիդրավլիկական երկբաղադրիչային ուժաչափ

Լծակամխոցային համակարգի մեծ իներցիոնության պատճառով, մանոմետրի ցուցմունքները հետ են մնում բարձր

արագության գործընթացներից՝ աղավաղելով կտրման ուժի՝ ըստ ժամանակի և ըստ մեծության փոփոխման նկարագիրը: Իներցիոնության, ինչպես նաև փոքր զգայունության պատճառով, հիդրավլիկական ուժաչափերն ունեն սահմանափակ կիրառություն:

Մեխանիկական ուժաչափի աշխատանքի սկզբունքը կայանում է հետևյալում (նկ. 1.19). 9 կտրիչի վրա կտրման P_z և P_y ուժերի ազդեցության տակ և ուժաչափի 6 իրանի 1 առաձգական պատերի դեֆորմացիայի հետևանքով, 8 կտրիչակալը տեղաշարժվում է: Այդ տեղաշարժերը 2 չորուկների և 4, 7 ռոտիկների միջոցով սևեռվում են 3 և 5 ցուցասարքերով: Մեխանիկական ուժաչափերն ունեն հիդրավլիկական ուժաչափերի նույն թերությունները և նույնպես ունեն սահմանափակ կիրառություն:



Նկ. 1.19. Մեխանիկական երկբաղադրիչային ուժաչափ

Կտրման ուժերի չափման համար ներկայումս լայն կիրառություն ունեն էլեկտրական ուժաչափերը: Այս ուժաչափերի աշխատանքը հիմնված է օղակների տեղաշարժերը և դեֆորմացիաները էլեկտրական ազդանշանների փոխակերպման սկզբունքի վրա:

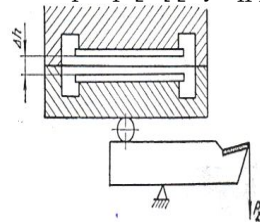
Ըստ կիրառվող տվիչների տեսակի, տարբերվում են հետևյալ էլեկտրական ուժաչափերը. պիեզոէլեկտրական, ունակային, օհմական դիմադրության, ինդուկցիոն:

Արտակարգ փոքր իներցիոնությունը, սեփական տատանումների շատ բարձր հաճախությունը (30000-50000 Հց) և ուժերի չափման բարձր ճշտությունը պիեզոէլեկտրական ուժաչափերի գլխավոր առավելություններից են: Պիեզոտվիչների փոքր ամրությունը, շահագործման և սպասարկման, ինչպես նաև չափորոշման մեծ բարդությունը հանդիսանում են սարքի հիմնական թերությունները: Այդ պատճառով նրանք լաբորատոր

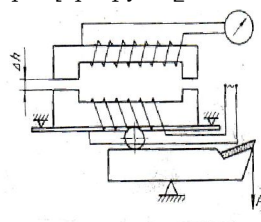
պայմաններում հազվադեպ են օգտագործվում և պիտանի չեն արտադրական խնդիրների լուծման համար:

Ունակային տվիչներում (նկ. 1.20) կտրման P_z ուժը կտրիչակալի միջոցով իրագործում է կոնդենստորի առաձգական թիթեղիկի տեղաշարժ, փոխելով օդային բացակի Δh մեծությունը, հետևաբար, և կոնդենստորի ունակությունը: Ունակության փոփոխությունը, բարձր հաճախականության սարքի միջոցով առաջացնում է հոսանքի ուժի փոփոխություն, որը գրանցվում է գալվանոմետրի կամ օսցիլոգրաֆի օգնությամբ:

Ունակային ուժաչափերը գործնականում իներցիոն չեն: Տվիչի և նրա հենակների մեծ կոշտության դեպքում նրանք ունեն սեփական տատանումների մինչև 10000 Հց հաճախություն: Այս ուժաչափերի հիմնական թերությունը բարձր հաճախության սարքի բարդությունն է, որը դժվարացնում է սպասարկումը, սահմանափակելով լայն կիրառման հնարավորությունը:



Նկ. 1.20. Ունակային տվիչ



Նկ. 1.21. Ինդուկցիոն տվիչ

Ինդուկցիոն տվիչների (նկ. 1.21) աշխատանքը հիմնված է հոսանքակիր եզրագծի (կոնտուր) դիմադրության փոփոխության վրա, որը բերում է փաթույթի հոսանքի ուժի փոփոխության՝ ֆերրոմագնիսականմարմինների միջև օդային Δh բացակի փոփոխության պատճառով: Այլ կերպ ասած, տվիչի աշխատանքը հիմնված է կոճի ռեակտիվ դիմադրության փոփոխության վրա, երբ փոխվում է նրա ինդուկտիվությունը՝ կախված մագնիսական դիմադրությունից: Մագնիսական R_p դիմադրությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$R_p \approx \frac{\Delta h}{\mu \cdot S},$$

որտեղ Δh - խարխախի և միջաձողի միջև եղած օդային բացակը, S - երկաթե միջաձողի ընդլայնական հատույթը, μ – միջաձողի մագնիսական թափանցելիությունը:

Այս ուժաչափերում ինդուկցիոն տվիչների կիրառումը, որպես օրենք, բացառում է հոսանքի ուժեղացուցիչի օգտագործումը՝ էլեկտրական ազդանշանները գրանցելով միկրոամպերմետրի և օսցիլոգրաֆի միջոցով: Այդ պատճառով, այս ուժաչափերը պարզ են սպասարկման համար և հուսալի՝ աշխատանքում:

Լարային կամ տենզոմետրական տվիչներով չափման եղանակը երբեմն կոչվում է նաև օհմական դիմադրության եղանակ: Այս տվիչներն իրենցից ներկայացնում են 0,015-ից մինչև 0,06 մմ տրամագծով փափուկ համաձուլվածքներից պատրաստված բարակ լարերի գալարներ: Տվիչը սոսնձվում է ուժաչափի առաձգական օղակի մակերևույթին և օղակի վրա ազդող բեռնվածքի դեպքում, նրա մակերևույթի հետ միասին ենթարկվում է նույն դեֆորմացիաներին: Տվիչի գալարների ձգումը կամ սեղմումը փոխում է նրա օհմական դիմադրությունը, որը համեմատական է ազդող ուժի մեծությանը: Լարային տվիչի R դիմադրության հարաբերական փոփոխությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով.

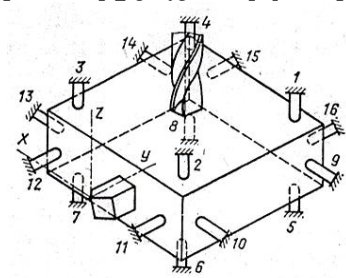
$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \frac{\Delta l}{l},$$

որտեղ ΔR - տվիչի դիմադրության փոփոխությունը, $\frac{\Delta l}{l}$ -տվիչի լարի հարաբերական դեֆորմացիան, K -ն՝ տենզոգայնության գործակից, որի մեծությունը կախված է լարի նյութի տեսակից և փոքրանում է տվիչի l երկարության (բազա) փոքրացմամբ:

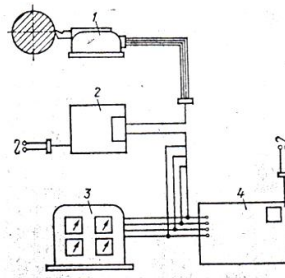
Ուժաչափի կոշտության ապահովման համար անհրաժեշտ է, որ առաձգական օղակների դեֆորմացիան գտնվի 0,1...0,2%-ի սահմաններում, որը կոնստանտանից պատրաստված լարի դեպքում առաջացնում է մինչև 0,5% դիմադրության հարաբերական փոփոխություն: Այդ պատճառով չափող կամրջակի, որին միացված է տվիչը, և գրանցող սարքի միջև տեղադրվում է էլեկտրոնային ուժեղացուցիչ:

Լարային տվիչներով ուժաչափերից ամենալայն կիրառություն է ստացել YDM կառուցվածքի ուժաչափը: Այս սարքով հնարավոր է

չափել կտրման ուժիբոլոր երեք բաղադրիչները խառատային մշակման, կտրիչով պարուրակի մշակման, ֆրեզման, ռանդման, հղկման դեպքերում, առանցքային ուժը նուրբող մոմենտը՝ գայլիկոնման, անցքալայնման, անցքակոկման և ներպարուրակիչով պարուրակների մշակման ժամանակ: Ուժաչափի և չափող սարքերի սխեմաները ցույց են տրված նկ. 1.22 և 1.23-ում:



Նկ. 1.22. Ուժաչափի սխեման (YDM)

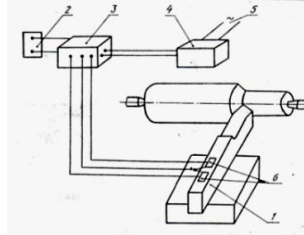


Նկ. 1.23. Ուժաչափի չափող սարքի սխեման. 1 - ուժաչափ, 2 - ուժեղացուցիչ, 3 - սարքերի վահանակ, 4 - օսցիլոգրաֆ

Ուժաչափի համար որպես հիմք է ծառայում քառակուսի թիթեղը (նավակ), որը տեղադրված է ուժաչափի իրանում, առաձգական օղակների վրա: Առաձգական օղակները տեղադրված են X, Y, Z առանցքների ուղղություններով: Z առանցքի ուղղությամբ տեղադրված տվիչները նախատեսված են ուղղաձիգ ուղղությամբ ազդող ուժերի, իսկ X և Y ուղղություններով տեղադրվածները՝ հորիզոնական հարթության վրա ազդող ուժերի և ոլորող մոմենտի չափման համար:

Երբեմն ուժերի չափումը կարելի է կատարել նաև կտրիչ-տվիչի միջոցով, առանց ուժաչափի օգտագործման (նկ. 1.24): Այս դեպքում որպես առաձգական օղակ ծառայում է կտրիչի 1 իրանը, որի վրա սոսնձվում են 6 լարային տվիչները: Կտրման ուժերի ազդեցության տակ 1 իրանը և 6 տենզոտվիչը դեֆորմացվածվում են՝ էլեկտրական շղթայում առաջացնելով հոսանքի ուժի փոփոխություն, որն ուժեղացվում է 3 ուժեղացուցիչով և չափվում 2 գրանցող սարքով: Շղթայում լարման հաստատունությունն

ապահովվում է 4 կայունարարի միջոցով, որը տեղակայված է գրանցող սարքի և սնման աղբյուրի միջև:



Նկ. 1.24. Տենզոտվիչի միջոցով կտրման ուժի չափման սխեման

Արտաքին հայացքից շատ պարզ թվացող կտրման ուժի չափման ներկայացված սխեման շատ բարդ է իրականացման տեսանկյունից: Բարդությունը կապված է կտրիչ-տվիչի կոշտության ու զգայնության, տվիչները չափման սխեմային միացման և վերջապես, վերափոխող և գրանցող սարքերի ընտրության հետ:

Կտրման ուժի իրական մեծությունը որոշելու համար ուժաչափը պետք է ենթարկվի ստատիկ կամ դինամիկ չափորոշման, կախված գործիքի աշխատանքային պայմաններից:

Ներկայումս, ուժերի չափման համար առավելապես օգտվում են չափման էլեկտրական եղանակներից: Աղյուսակ 1.3-ում բերված են էլեկտրական ուժաչափերի համեմատական գնահատականները:

Այս կամ այն հատկության դրական գնահատականին համապատասխանում է (+) նշանը, բացասականին՝ (-) նշանը: Աղյուսակից երևում է, որ վերջին երեք եղանակներն ունեն ամենաշատ առավելություններ:

Տարբեր կտրող գործիքների աշխատանքի ժամանակ առաջացող բեռնվածությունների չափման համար, լարային տենզոմետրերի կիրառությունն անընդհատ ավելանում է:

Աղյուսակ 1.3

Էլեկտրական ուժաշատների համեմատական բնութագրերը

N	Չափման եղանակը	Չափման շերտը	Չափերը	Չափման ընդգրկումը	Ճշտությունը	Ենթարկելիությունը խանգարումներին	Իներցիոնությունը	Չափորոշման հեշտությունը	Ծախսերը	Մպասարկման հեշտությունը
1	Պիեզոէլեկտրական	+	+	+	+	0	++	-	--	--
2	Ունակային	+	-	+	+	0	++	+	-	-
3	Ածխային դիմադրության	+	+	+	+	0	++	0	+	++
4	Հեղուկային դիմադրության	+	+	+	0	0	0	0	+	+
5	Ինդուկցիոն	+	++	++	+	+	++	+	++	++
6	Մագնիսական	+	++	+	+	++	+	+	+	+
7	Տենզոմետրական	+	++	+	+	++	+	+	+	++
Ծանոթություն: 0 նշանը ցույց է տալիս ինչպես դրական, այնպես էլ բացասական որակների բացակայությունը:										

1.11. ԸՆԴՀԱՏ ԿՏՐՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ ԿՏՐՈՂ ՄԵՊԸ ՄՇԱԿՎՈՂ ՆՅՈՒԹԻ ՄԵՋ ՆԵՐԽՐՄԱՆ ՊԱՀԻՆ ԱՌԱՋԱՑՈՂ ԴԻՆԱՄԻԿ ՈՒԺԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

Ընդհատ կտրման գործընթացում դինամիկ (հարվածային) ուժի որոշումը տեսական եղանակով կրում է մոտավոր բնույթ, որը կապված է պլաստիկության դինամիկ տեսության եռաչափ խնդրի լուծման և տեխնոլոգիական համակարգի ցուցաբերած վարքի հաշվառման հետ: Հարվածի երևույթի փորձնական հետազոտությունը ևս ունի լուրջ բարդություններ, որովհետև հարվածի տևողությունը շատ փոքր է $10^{-2} \dots 10^{-4}$ վրկ [4] և այդպիսի կարճատև գործընթացների գրանցման սարքերին ներկայացվում են

կոշտ պահանջներ, որոնք պայմանավորված են նրանց ամպլիտուդա-հաճախականային բնութագրերով:

Կտրող սեպը մշակվող նախապատրաստվածքի մեջ ներխորման պահից մինչև քվազիկայուն կտրման պահն ընկած անցումային գործընթացի ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ տարբեր հետազոտողների մոտ գոյություն ունեն տարակարծություններ հարվածային երևույթի առկայության կամ բացակայության վերաբերյալ: Արագ ընթացող գործընթացների հետազոտման ժամանակ կարևորագույն և սկզբունքային նշանակություն ունի հարվածային ուժերի չափման եղանակը, իսկ հարվածային երևույթի բացակայության վերաբերյալ որոշ հետազոտողների եզրակացությունները կարելի է բացատրել փորձերում օգտագործված վերափոխող, գրանցող և չափող սարքերի հաճախականային բնութագրերի և մշակման գործընթացների պարամետրերի անհամապատասխանությամբ, ինչպես նաև փորձերի կատարման մեփոփոխվելով:

Ուժաչափի կիրառումով ուժերի չափումը մեծացնում է արդյունքների հավաստիությունը: Կտրման ուժի ազդեցության տակ նրա համակարգի ստիպողական տատանումներ կատարելու ունակությունը գնահատվում է դինամիկության λ գործակցով: Այն ցույց է տալիս, թե ուժի ստատիկ կիրառման դեպքում համակարգի ստիպողական տատանումների A ամպլիտուդը քանի անգամ է մեծ կամ փոքր B տեղաշարժից, որը հավասար է գրգռող ուժի ամպլիտուդային [15]: Հարմոնիկ օրենքով փոփոխվող գրգռող ուժի ազդեցության դեպքում դինամիկության գործակիցը որոշվում է հետևյալ հավասարումով.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{v}{v_0}\right)^2\right] + \gamma^2 \left(\frac{v}{v_0}\right)^2}}, \quad (1.25)$$

4որտեղ v – գրգռող ուժի փոփոխման հաճախությունը, v_0 – ուժաչափի համակարգի սեփական հաճախությունը, γ – մարման գործակից, որը կախված է համակարգի թրթռամարման հատկություններից:

v/v_0 հարաբերության փոքր արժեքների տիրույթում դինամիկ և ստատիկ տեղաշարժերը համարյա չեն տարբերվում: Գրգռող ուժի

(կտրման ուժ) փոփոխման հաճախությունը ուժաչափի առաձգական համակարգի սեփական տատանումների հաճախությանը մոտեցման դեպքում, ստիպողական տատանումների ամպլիտուդը կտրուկ աճում և հետագայում փոքրանալով, դառնում է ստատիկ տեղաշարժման մեծությունից ավելի փոքր: Ուժաչափի ընտրման ժամանակ անհրաժեշտ է ունենալ նրա ամպլիտուդա-հաճախականային բնութագիրը և ընտրությունը կատարել այնպես, որպեսզի v/v_0 հարաբերությունը լինի նշանակալի չափով փոքր, իսկ դինամիկ տեղաշարժը՝ շատ մոտ ստատիկ տեղաշարժին: Գրգռող ուժի տատանումների չափման համար լրիվ բավարար է $v/v_0 \leq 0,2$ անհավասարության ապահովումը, այսինքն՝ ուժաչափի սեփական հաճախությունը պետք է հինգ և ավելի անգամ մեծ լինի չափվող ուժի տատանումների հաճախությունից [10, 15]:

Տենզոդեզիստորից ստացված ազդանշանների գրանցման բավարար զգայություն ապահովելու համար արագ ընթացող գործընթացների չափման ուղեսարքվածքում օգտագործվում են տանող հաճախության կամ հաստատուն հոսանքի ուժեղացուցիչներ, որոնք նաև համաձայնեցնում են տենզոդեզիստորի ելքը գրանցող սարքի մուտքի հետ: Ուժեղացուցիչներին և գրանցող սարքերին ներկայացվող պահանջները կախված են հետազոտվող գործընթացի հաճախականային բնութագրերից:

Չափող ապարատուրան իրենից ներկայացնում է f_g (ցածր) և f_p (բարձր) սահմանային հաճախություններով շերտավոր զտիչ: Ազդանշանի գրանցումը բավարար ճշտությամբ կիրականացվի, եթե $f_g < \frac{1}{T} < f_p$, որտեղ T -ն հարվածի տևողությունն է: Հետազոտվող գործընթացի առավելագույն և նվազագույն հաճախությունները (թողարկման շերտ 5% թուլացումով), որոնք կարող են անցնել դինամիկ դեֆորմացիաների գրանցման սարքով, որոշվում են հետևյալ արտահայտություններով [17].

$$f_{5\%un.} > \frac{5}{T}, \quad f_{5\%inl.} < \frac{1}{40T} : \quad (1.26)$$

Եթե ազդանշանը ուժեղացուցիչի ելքից տրվում է անմիջապես կատողային օսցիլոգրաֆի թիթեղներին, ապա կարելի է ընդունել, որ

օսցիլոգրաֆը լրացուցիչ շեղումներ և սխալանքներ չի առաջացնում (թողարկման շերտը $0...7 \cdot 10^6$ Հց):

Ընդհատ կտրման գործընթացումկտրող սեպը մշակվող նյութի մեջ ներխրման ժամանակը կազմում է մոտ $10^{-4}...1$ վրկ [14]: Ներխրման ժամանակի $t_{\text{ներխ.}} = 10^{-4}$ վրկ դեպքում, ըստ (1.26) կախվածությունների, ներխրման դինամիկ ուժի գրանցման և չափման համար անհրաժեշտ է ունենալ ոչ պակաս $0,25...50$ կՀց թողարկման շերտով ապարատուրա: Բերված օրինակից հետևում է, որ շլեյֆային օսցիլոգրաֆների օգտագործման դեպքում կարող են տեղի ունենալ նշանակալի աղավաղումներ, հատկապես բարձր հաճախությունների վերարտադրման ժամանակ, որովհետև այս օսցիլոգրաֆների տատանումների թողարկման շերտը չի գերազանցում $0...15$ կՀց ընդգրկույթը: Ասվածը վերաբերում է նաև ուժեղացուցիչներին:

Ըստ Ն.Ն.Դավիդենկովի [10], հարվածային երևույթների հետազոտման ամենահարմար եղանակը պիեզոէլեկտրական աքսելերոմետրի կիրառման եղանակն է, որի օգտագործման դեպքում աքսելերոմետրը (պիեզոտվիչը) ուղիղ կերպով ամրացվում է փորձարկվող օբյեկտին (կտրիչին), ինչը հնարավորություն է տալիս չափել հարվածողմարմնի արագացումը: Աքսելերոմետրի սեփական հաճախությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$f_o \geq \frac{\pi}{4\eta\tau}, \quad (1.27)$$

որտեղ η – աքսելերոմետրի հարաբերական սխալանքը ($\eta = 0,5...0,9$), τ – առջևի ճակատը կամ առավելագույն արագացմանը հասնելու ժամանակը ($\tau \approx 10^{-4}$ վրկ):

Ընդհատ կտրման համեմատաբար բարձր արագությունների դեպքում մեծանում է կտրման ուժի տատանումների v հաճախությունը, որի հետևանքով դադարում է գործել $\frac{v_o}{v} \geq 5$ պայմանը և անցումային գործընթացի կտրման ուժի դինամիկ բաղադրիչի որոշումն ուժաչափի միջոցով դառնում է անհնար: Նույն տեխնոլոգիական համակարգում, ցանկացած երկու տարբեր կտրման արագությունների դեպքում, կտրման ուժերի դինամիկ

բաղադրիչների և կտրիչի համապատասխան արագացումների միջև գործում է հետևյալ կապը[21].

$$\frac{P_g}{P_F} = \frac{a_g}{a_F}, \quad (1.28)$$

որտեղ՝ P_g - կտրման ուժի դինամիկ բաղադրիչը (հարվածի ուժը) ցածր կտրման արագության դեպքում, որը որոշվում է ուժաչափի միջոցով, a_g - կտրիչի համապատասխան արագացումը, a_F - բարձր կտրման արագությանը համապատասխանող արագացումը:

Օգտվելով (1.28) արտահայտությունից, հաշվարկվում է կտրման ուժի դինամիկ բաղադրիչը բարձր կտրման արագության ժամանակ.

$$P_F = P_g \cdot \frac{a_g}{a_F} : \quad (1.29)$$

Փորձերում օգտագործվող աքսելերոմետրի սեփական հաճախությունը որոշվում է (1.27) արտահայտությունից, ըստ որի որոշվում է նրա մակնիշը [29]:

Արագացումների միջին արժեքները որոշվում են նրանց օսցիլոգրամների ապրոքսիմացիայով (մոտարկումով): Աքսելերոմետրը չափորոշման ենթարկելու անհրաժեշտություն չի առաջանում, որովհետև (1.29) արտահայտության մեջ օգտագործվում է արագացումների հարաբերությունը:

Հայտնի է, որ ազատ տեղաշարժվող մարմինների, ինչպես նաև բեռի և հեծանի կամ բեռի և կոշտ ամրացված սալի հարվածի դեպքերում տեղի է ունենում հարվածող մարմնի արագության անկում: Նմանատիպ երևույթ տեղի է ունենում նաև մշակվող նյութի մեջ կտրող սեպի ներխուժման ժամանակ, ինչը, ըստ [2]-ի, հանդիսանում է ոչ թե հարվածի, այլ տեխնոլոգիական համակարգում առկա կցվանքային բացակների վերացման հետևանք:

Գործիքի արագության անկման աստիճանի վրա ՏՀ-ում առկա բացակների գումարային ազդեցության բացառման համար, երկկտրիչանի հատուկ կտրիչակալի կիրառմամբ, ընդլայնական 7M36 հաստոցի վրա իրականացվել է ռանդում երկու կտրիչներով [26]: Նախապատրաստվածքի մեջ ներխուժման ընթացքում

կտրիչներից առաջինը, կրելով մի քանի անգամ մեծ բեռնվածք քան երկրորդը, վերացնում է SZ-ի բացակները: Կտրման արագության անկման առկայության կամ բացակայության որոշման նպատակով, երկրորդ կտրիչի ներխուրմն ուղեկցվում է արագ կինոնկարահանումով [21, 29]: Արագության անկման (եթե այն տեղի ունի) և դինամիկ ուժի աճման ժամանակների համեմատման համար կատարվում է նաև ներխուրման գործընթացի օսցիլոգրաֆավորում՝ կտրիչ-տվիչի և ուժաչափի կիրառմամբ [29].

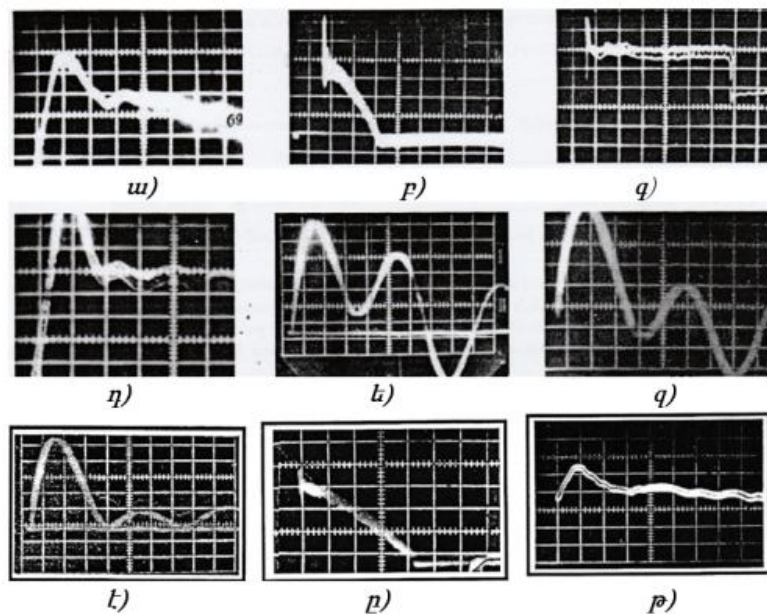
Նկարագրված հետազոտություններում կարևոր նշանակություն ունեն կտրման ռեժիմները, կտրիչի ընդլայնական հատույթի չափերը և թռիչքը:

Մշակվող նախապատրաստվածքի մեջ գործիքի ներխուրման անցումային գործընթացների հետազոտման հիմնական մեթոդիկաները և գտագործվող սարքերը բերված են [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30] աշխատանքներում, իսկ կատարված փորձնական հետազոտությունների որոշ արդյունքներ ներկայացված են նկ. 1.25-ում:

Երկկտրիչանի սխեմայով կատարված փորձերի արդյունքները և ստացված օսցիլոգրամները վկայում են այն մասին, որ գործիքի ներխուրման գործընթացում տեղի է ունենում կտրման արագության անկում, որի տևողությունը համաչափելի է դինամիկ ուժի (հարվածի) աճման ժամանակի հետ [21]: Հարվածի դասական տեսությունից հայտնի է, որ նշված ժամանակների համընկնումը հատուկ է առաձգական հարվածի դեպքին: Հայտնի է նաև, որ ներթափանցումով հարվածի դեպքում, որը նմանակ է գործիքի ներխուրման գործընթացին, հարվածի ուժը հասնում է իր առավելագույն արժեքին, երբ հպատեղի դեֆորմացիան դեռևս չի հասել իր մաքսիմումին:

Փորձնականորեն հաստատված են այն հիմնական գործոնները, որոնք ազդում են հարվածի ուժի (P_z) մեծության և տևողության վրա: Այդ գործոններն են՝ կտրման ռեժիմները, մշակվող նյութի հատկությունները, գործիքի երկրաչափությունը, SZ-ի կոշտությունը: Հաստատված է, որ դինամիկության $K_{\eta h}$ գործակիցը, որն իրենից ներկայացնում է հարվածի ուժի և քվադրիկայուն գործընթացում կտրման ուժի հարաբերությունը՝

$K_{\eta h} = \frac{P_{zh}}{P_z}$, թուջերի և պողպատների մշակման ժամանակ, կախված կտրման ռեժիմներից, տատանվում է համապատասխանաբար՝ $K_{\eta h} = 1,1 \dots 1,5$ և $K_{\eta h} = 1,1 \dots 2,1$ սահմաններում: Պողպատների մշակման դեպքում $K_{\eta h}$ -ի համեմատաբար մեծ արժեքները կարելի է բացատրել հպման տեղամասում մետաղի ամրացումով:



Նկ. 1.25. Կտրման ուժերի (u , p , q , η , ε , ρ) և արագացումների (ε , q , ρ) օսցիլոգրամները ֆրեզման (u , p , ρ) և ռանդման (q , η , ρ) ժամանակ

Ընդհատ կտրման ժամանակ գործիքի ներխրման գործընթացում մեխանիկական հարվածի երևույթի առկայությունը կարելի է արձանագրել նաև առանց բարդ և թանկարժեք սարքերի օգտագործման, միևնույն պայմաններում ռանդման և խառատային գործընթացներում փորձարկվող կտրիչների կայունությունների համեմատմամբ [25]:

1.12. ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

Ուժային կախվածությունների հաստատման համար, որպես օրենք, կիրառվում է մեկ գործոնի ազդեցության որոշման փորձնական եղանակը, երբ փոփոխվում է միայն այն գործոնը, որի ազդեցությունը ուսումնասիրվում է, իսկ մնացած ազդող գործոնները մնում են հաստատուն [5]: Բազմաթիվ հետազոտությունները ցույց են տվել, որ կտրման գործընթացի վրա ազդող տարբեր մեծությունների փոխկապվածությունը բավականին բարձր ճշտությամբ կարող է արտահայտվել $y = A \cdot x^m$ տեսքի փորձնական կախվածությամբ:

Այսպիսի ֆունկցիաների որոշման համար օգտագործվում է կորդինատների կրկնակի լոգարիթմական համակարգ, երբ դեկլարյան կորդինատների փոխարեն տեղադրվում են մեծությունների լոգարիթմները:

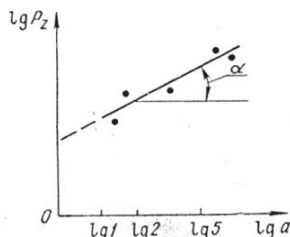
Լոգարիթմենք $y = A \cdot x^m$ արտահայտությունը: Կստանանք $\lg y = \lg A + m \lg x$, որը $y = a + bx$ հավասարման նմանակն է: Դա նշանակում է, որ կոորդինատների կրկնակի լոգարիթմական համակարգում ցուցչային ֆունկցիան արտահայտվում է ուղիղ գծի տեսքով:

Ենթադրենք, անհրաժեշտ է կապ հաստատել կտրման հատույթի a հաստության և P_z ուժերի միջև: Յուրաքանչյուր փորձի դիտարկումների n թիվը կախված է ներկայացված ճշտությունից և հուսալիությունից: Օրինակ, հուսալիության մակարդակի (երաշխավորված հավանականություն) 0,9 արժեքի դեպքում, յուրաքանչյուր փորձում դիտարկումների նվազագույն n թիվը պետք է հավասար լինի 5-ի, 0,95-ի դեպքում՝ 7-ի: Ուժի միջին արժեքը յուրաքանչյուր փորձի ժամանակ գրանցվում է համապատասխան աղյուսակում՝

$$P_{z_{\text{միջ.}}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{z_i}:$$

$P_z = f(a) = C_{P_z} \cdot a^{y_{P_z}}$ ֆունկցիոնալ կախվածությունը որոշելու համար, երբ մնացած այլ պայմանները հաստատուն են, a -ի տարբեր

արժեքների դեպքում չափվում են կտրման P_z ուժերը և արդյունքները տեղադրվում կրկնակի լոգարիթմական ցանցի վրա (նկ. 1.26):



Նկ. 1.26. $P_z = C_{P_z} \cdot a^{y_{P_z}}$ կախվածության հաստատուն գործակցի և ցուցիչի որոշումը գրաֆիկական եղանակով

Գրաֆիկի ուղիղ գիծը տարվում է այնպես, որպեսզի փորձնական կետերի՝ մինչև ուղիղն ունեցած հեռավորությունների գումարը լինի նվազագույնը, այսինքն՝ փորձնական կետերին ամենամոտը: Այդ ուղղի թեքման անկյան տանգենսը y_{P_z} մեծությունն է, իսկ այն հատվածը, որն առաջանում է ուղղի և օրդինատների առանցքի հատումից՝ $a = 1$ դեպքում, իրենից ներկայացնում է C_{P_z} գործակցի մեծությունը: Նման ձևով որոշվում են $P_z = f(t)$, $P_z = f(V)$ և ուրիշներ, որոնք հնարավորություն են տալիս ստանալ $P_z = C_{1P_z} \cdot t^{x_{P_z}}$, $P_z = C_{2P_z} \cdot V^{y_{P_z}}$ և այլ կախվածություններ:

Որոշենք C_{P_z} գործակիցը հետևյալ ընդհանուր կախվածության դեպքում [19].

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot S^{y_{P_z}} \cdot V^{z_{P_z}} : \quad (1.30)$$

Եթե արդեն հայտնի են մասնավոր կախվածությունները.

$$P_z = C_{1P_z} \cdot t^{x_{P_z}}, \text{ երբ } V \text{ և } S = \text{const}, \quad (1.31)$$

$$P_z = C_{2P_z} \cdot S^{y_{P_z}}, \text{ երբ } t \text{ և } V = \text{const}, \quad (1.32)$$

$$P_z = C_{3P_z} \cdot V^{z_{P_z}}, \text{ երբ } S \text{ և } t = \text{const}: \quad (1.33)$$

Հավասարեցնելով (1.30) հավասարման աջ մասը համապատասխանաբար (1.31), (1.32) և (1.33) հավասարումների աջ մասերի հետ, կստանանք.

$$C'_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot S^{y_{P_z}} \cdot V^{z_{P_z}} = C_{1P_z} \cdot t^{x_{P_z}},$$

$$C'_{P_z} = t^{x_{P_z}} \cdot S^{y_{P_z}} \cdot V^{z_{P_z}} = \frac{C_{1P_z}}{S^{y_{P_z}} \cdot V^{z_{P_z}}} :$$

Նման ձևով կորոշվեն C''_{P_z} -ը և C'''_{P_z} -ը.

$$C''_{P_z} = \frac{C_{2P_z}}{t^{x_{P_z}} \cdot V^{z_{P_z}}}, \quad C'''_{P_z} = \frac{C_{3P_z}}{t^{x_{P_z}} \cdot S^{y_{P_z}}}.$$

C_{P_z} մեծությունը կորոշվի C'_{P_z} , C''_{P_z} և C'''_{P_z} մեծությունների միջին թվաբանականով:

Հարկ է նշել, որ այս եղանակը կիրառելի է նաև այլ դեպքերում, օրինակ C_θ հաստատուն գործակցի որոշման ժամանակ, երբ անհրաժեշտ է կապ հաստատել կտրման ռեժիմների և ջերմաստիճանի միջև: Փորձնական արդյունքների մշակման գրաֆիկական եղանակը ճշտության տեսանկյունից լավ արդյունքներ է տալիս միայն այն դեպքում, երբ փորձնական կետերը գտնվում են մեկ ուղղի վրա կամ բավական խիտ են դասավորված նրա երկայնքով: Փորձի սխալանքների և կետերի մեծ ցրումների հետևանքով ուղղի դիրքը դառնում է անորոշ: Այս դեպքում աստիճանացույցի և հաստատուն գործակցի որոշումը կատարվում է անալիտիկ եղանակով, կիրառելով ամենափոքր քառակուսիների եղանակը: Եղանակի հիմքում ըկած է հետևյալ դրույթը. մոտարկվող (ապրոքսիմացվող) $y = f(x)$ ֆունկցիայի առավելագույն մոտեցումը փորձնական տվյալներին կլինի այն դեպքում, երբ $f(x_1), f(x_2), f(x_3), \dots, f(x_n)$ հաշվարկային մեծությունների և $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ փորձնական արդյունքների միջև եղած շեղումների քառակուսիների գումարը լինի նվազագույնը, այսինքն՝

$$\sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 = \min :$$

Կտրման տեսության բնագավառում կատարվող հետազոտություններում տարածում են գտել հավասարումներ, որոնք ներկայացվում են աստիճանային ֆունկցիաների տեսքով, օրինակ.

$$P = C \cdot S^\alpha \cdot t^\beta: \quad (1.34)$$

C, α, β մեծությունների որոշման համար կարելի է օգտագործել ամենափոքր քառակուսիների եղանակը: Այդ նպատակով (1.34) հավասարումը բերենք լոգարիթմական տեսքի.

$$\lg P = \lg C + \alpha \cdot \lg S + \beta \cdot \lg t :$$

Նշանակենք. $\lg P = N, \lg S = x, \lg t = y, \lg C = z$ և $j = 1$:

Կստանանք հետևյալ հավասարումը.

$$N = \alpha \cdot x + \beta \cdot y + j \cdot z : \quad (1.35)$$

Նկատենք, որ հետևյալ հավասարումներում α և β մեծությունների որոշման E սխալները իրենցից ներկայացնում են ոչ թե հենց թվերը, այլ նրանց լոգարիթմները.

$$\begin{aligned} E_1 &= \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot y_1 + j \cdot z_1 - N_1 \\ E_2 &= \alpha \cdot x_2 + \beta \cdot y_2 + j \cdot z_2 - N_2 \\ &\dots\dots\dots \\ E_n &= \alpha \cdot x_n + \beta \cdot y_n + j \cdot z_n - N_n \end{aligned} \quad (1.36)$$

և այդ պատճառով սխալները կլինեն նվազագույնը:

Փորձնական տվյալների հիման վրա տրված խնդրի լուծման համար անհրաժեշտ է ունենալ (1.34) հավասարման տեսքիո հավասարումներ: Լոգարիթմելով այդ հավասարումները, կստանանք ռթվով պայմանական հավասարումներ.

$$\left. \begin{aligned} \alpha \cdot \lg S_1 + \beta \cdot \lg t_1 + \lg C &= \lg P_1 \\ \alpha \cdot \lg S_2 + \beta \cdot \lg t_2 + \lg C &= \lg P_2 \\ \dots\dots\dots \\ \alpha \cdot \lg S_n + \beta \cdot \lg t_n + \lg C &= \lg P_n \end{aligned} \right\} \quad (1.37)$$

Նորմալ հավասարումների ստացման նպատակով, յուրաքանչյուր պայմանական հավասարումը բազմապատկենք α -ի գործակցով և գումարենք նրանց: Նույնը կատարենք β -ի և $\lg C$ -ի համար: Արդյուքնում կստանանք.

α -ի համար.

$$\alpha \cdot \sum_1^n (\lg S)^2 + \beta \cdot \sum_1^n \lg S \cdot \lg t + \lg C \sum_1^n \lg S = \sum_1^n \lg S \cdot \lg P,$$

β -ի համար.

$$\alpha \cdot \sum_1^n \lg S \cdot \lg t + \beta \cdot \sum_1^n (\lg t)^2 + \lg C \sum_1^n \lg t = \sum_1^n \lg t \cdot \lg P,$$

$\lg C$ -ի համար.

$$\alpha \cdot \sum_1^n \lg S + \beta \cdot \sum_1^n \lg t + n \cdot \lg C = \sum_1^n \lg P,$$

որտեղից որոշվում են α , β և C անհայտները:

Դիտարկենք հետևյալ օրինակը: Շրջատաշման ժամանակ կատարված փորձերում ստացվել են հետևյալ արդյունքները (աղ. 1.4).

Աղյուսակ 1.4

Շրջատաշման ժամանակ գրանցված արդյունքները

S, մմ/սլ	0,6				0,8			1,2				1,6		
t, մմ	3,0	5,0	7,0	10,0	5	7	10	3	5	7	10	5	7	10
P, կգ ուժ	153	238	341	477	400	515	800	350	460	680	950	600	800	1000

Կիրառելով $P = C \cdot S^\alpha \cdot t^\beta$ հավասարումը և աղյուսակ 1.4-ի տվյալները, որոշենք α , β և C մեծությունները ամենափոքր քառակուսիների եղանակով (աղ. 1.5):

P ուժի կախվածությունը S -ից և t -ից որոշելու համար օգտվենք հետևյալ տեսքի հավասարումից.

$$P = C \cdot S^\alpha \cdot t^\beta:$$

Աղյուսակի տվյալների հիման վրա, օգտվելով հավասարումների (1.36) համակարգից, կարելի է կազմել նորմալ հավասարումների հետևյալ համակարգը.

$$0,3861\alpha + 0,442\beta - 258 \lg C = -0,354;$$

$$0,442\alpha + 9,24\beta + 11,1306 \lg C = 30,31;$$

$$-0,258\alpha + 11,1306\beta + 14 \lg C = 37,688;$$

Լուծելով համակարգը, կստանանք.

$$\lg C = 1,97; C = 93,4; \beta = 0,93; \alpha = 0,7:$$

Արդյունքում, հավասարումը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$P = 93,4 \cdot S^{0,7} \cdot t^{0,93}:$$

Եթե հավասարումն ունի գծային կախվածության տեսք.

$$y = \alpha x + \beta:$$

Ամենափոքր քառակուսիների եղանակով α և β գործակիցների որոշման նպատակով, նախորդ օրինակի նման i ինդեքսով n փորձնական կետերի համար կազմվում է հետևյալ գումարը (հետագայում i ինդեքսը չի օգտագործվում).

$$\sum_1^n E^2 = \sum_1^n (y_i - \alpha x_i - \beta)^2 = \min : \quad (1.38)$$

Աղյուսակ 1.5

<i>N</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>t</i>	<i>lg P</i>	<i>lg S</i>	<i>lg t</i>	<i>(lg S)²</i>	<i>(lg t)²</i>	<i>lg S lg t</i>	<i>lg S lg P</i>	<i>lg t lg P</i>
1	153	0,6	3	2,1847	-0,2218	0,4771	0,0490	0,2230	-0,1060	-0,4850	1,000
2	238	0,6	5	2,3766	-0,2218	0,6990	0,0490	0,4900	-0,1550	-0,5300	1,640
3	341	0,6	7	2,5328	-0,2218	0,8451	0,0490	0,7100	-0,1880	-0,5600	2,120
4	477	0,6	10	2,6785	-0,2218	1,0000	0,0490	1,0000	-0,2218	-0,5900	2,0785
5	400	0,8	5	2,6021	-0,1000	0,6990	0,0100	0,4900	-0,0699	-0,2600	1,8200
6	515	0,8	7	2,7118	-0,1000	0,8451	0,0100	0,7100	-0,0845	-0,2711	2,260
7	800	0,8	10	2,9031	-0,1000	1,0000	0,0100	1,0000	-0,1000	-0,2903	2,9031
8	350	1,2	3	2,5441	0,0792	0,4771	0,0064	0,2230	0,0380	0,2020	1,220
9	460	1,2	5	2,6628	0,0792	0,6990	0,0064	0,4900	0,550	0,2100	1,840
10	680	1,2	7	2,8325	0,0792	0,8451	0,0064	0,7100	0,6800	0,2250	2,400
11	950	1,2	10	2,9777	0,0792	1,0000	0,0064	1,0000	0,0792	0,2350	2,978
12	600	1,6	5	2,7782	0,2041	0,6990	0,0415	0,4900	0,1400	0,5600	1,940
13	800	1,6	7	2,9031	0,2041	0,8451	0,0415	0,7100	0,1700	0,1900	2,450
14	1000	1,6	10	3,0000	0,2041	1,0000	0,0415	1,0000	0,2041	0,6100	3,000
Գումարը				37,688	-0,258	11,1306	0,3861	9,2460	0,442	-0,354	30,31

Գումարը (սխալանքը) կլինի նվազագույնը, եթե նրա մասնավոր ածանցյալները ըստ α և β պարամետրերի հավասար լինեն զրոյի.

$$\frac{\delta \sum_1^n E^2}{\delta \alpha} = 0, \quad \frac{\delta \sum_1^n E^2}{\delta \beta} = 0:$$

(1.37) հավասարման աջ մասը բարձրացնենք քառակուսի և որոշենք նրա մասնավոր ածանցյալները ըստ α – ի և β – ի, կստանանք.

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta \alpha} \sum_1^n E^2 &= - \sum_1^n yx + \alpha \sum_1^n x^2 + \beta \sum_1^n x = 0, \\ \frac{\delta}{\delta \beta} \sum_1^n E^2 &= - \sum_1^n y + \alpha \sum_1^n x + \sum_1^n \beta = 0: \end{aligned}$$

Անհայտ α և β գործակիցների որոշման համար կստանանք հետևյալ երկու հավասարումները.

$$\begin{aligned} \alpha \sum_1^n x^2 + \beta \sum_1^n x &= \sum_1^n yx, \\ \alpha \sum_1^n x + \sum_1^n \beta &= \sum_1^n y: \end{aligned}$$

Փորձերի ժամանակ ամենալայն կիրառություն ունեցող գրաֆա-անալիտիկ եղանակն ունի մեկ կարևոր թերություն՝ այն շատ աշխատատար է: Այդ պատճառով, ցանկալի է, որ փորձերը կատարվեն պլանավորման վիճակագրական եղանակների կիրառումով: Բազմաթիվ փորձնական հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ընդհատ կտրման ժամանակ կտրող սեպի ներխուժման անցումային գործընթացում առաջացող հարվածի ուժի կախվածությունը կտրման ռեժիմի պարամետրերից և այլ գործոններից, բավականին ճշգրիտ կերպով կարելի է ներկայացնել հետևյալ կախվածությամբ.

$$P_{zh} = C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot V^{z_{pz}}:$$

Լոգարիթմական մասշտաբում հավասարումը կարելի է բերել հետևյալ տեսքի.

$$\lg P_{zh} = \lg C_{pz} + x_{pz} \lg t + y_{pz} \lg S + z_{pz} \lg V$$

կամ հաշվի առնելով փարձի ε սխալը.

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \varepsilon :$$

Փորձերը պլանավորվում են բազմագործոնային անալիզի հիման վրա, այսինքն՝ բոլոր $x_1(t)$, $x_2(S)$, $x_3(V)$ գործոնների միաժամանակյա փոփոխակումով: Որոշման ենթակա են b_0 հաստատունը և b_1, b_2, b_3 գործակիցները:

Փորձերի պլանավորման տարբեր սխեմաներ բերված են [1, 9, 18, 30] աշխատանքներում: Փորձերի կատարման ընթացքում մաթեմատիկական վիճակագրության օգտագործումը հնարավորություն է ընձեռում ստանալ առավելագույն տեղեկություններ ուժերի և միջոցների նվազագույն ծախսերով: Բացի այդ, վիճակագրական եղանակները կիրառվում են նաև փորձնական արդյունքների մշակումից ստացված մաթեմատիկական մոդելի հավաստիության գնահատման համար:

Մաթեմատիկական մոդելի վիճակագրական անալիզը բաղկացած է հետևյալ փուլերից [5].

1. Դիսպերսիայի (ցրում) վերարտադրելիության գնահատում (Կոխրենի G չափանիշ)

2. Ամենափոքր քառակուսիների եղանակով ստացված բազմանդամի գործակիցների նշանակալիությունների գնահատում (Ստյուդենտի t չափանիշ)

3. Մոդելի համապատասխանության ստուգում (Ֆիշերի F չափանիշ):

Տարբեր մետաղների ռանդոման և ֆրեզման ժամանակ գործիքի ներխուժման անցումային գործընթացի դինամիկ ուժերի մաթեմատիկական մոդելները, որոնք ստացված են փորձերի պլանավորման վիճակագրական եղանակների կիրառումով, և նրանց հավաստիության վիճակագրական եղանակները բերված են [9, 23, 30] աշխատանքներում:

ԳԼՈՒԽ 2. ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԸ ԿՏՐՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

2.1. ՋԵՐՄՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐԸ ԵՎ ՋԵՐՄՈՒԹՅԱՆ ԲԱՇԽՈՒՄԸ ՏԱՇԵՂԻ, ԳՈՐԾԻՔԻ ԵՎ ԴԵՏԱԼԻ ՄԻՋԵՎ

Նյութերի կտրմամբ մշակման գործընթացում ջերմային երևույթներն ունեն բացառիկ կարևոր դեր: Հատկապես այս երևույթներից է կախված կտրման գոտու ջերմաստիճանը, որն ուղիղ ազդեցություն է գործում տաշեղի առաջացման բնույթի, ինչպես նաև մակաձի, տաշեղի կծկման, կտրման ուժերի մեծության և մակերևութային շերտի միկրոկառուցվածքի վրա: Կտրման ջերմաստիճանը նշանակալի ազդեցություն է գործում գործիքի մաշման ուժգնության և նրա կայունության վրա:

Հայտնի է, որ կառուցվածքային նյութերի կտրումով մշակման ժամանակ ծախսված աշխատանքի 0,97...0,995 մասը վերածվում է ջերմության: Այդ աշխատանքը կարելի է ներկայացնել հետևյալ գումարով.

$$E = E_{\eta\epsilon\phi} + E_{2\psi.առջ} + E_{2\psi.հետ},$$

որտեղ $E_{\eta\epsilon\phi}$, $E_{2\psi.առջ}$, $E_{2\psi.հետ}$ աշխատանքներ, որոնք ծախսվում են համապատասխանաբար՝ կտրվող շերտի առաձգական և պլաստիկ դեֆորմացիաների վրա, գործիքի առջևի և հետին մակերևույթների վրա առաջացող շփման ուժերի հաղթահարման վրա:

Կտրման աշխատանքը.

$$E = P_z \cdot L_{կգ.ուժ.մ},$$

որտեղ P_z – կտրման արագության ուղղությամբ ազդող կտրման ուժը, կգ·ուժ, L – կտրող գործիքի անցած ճանապարհը, մ:

Ընդհանուր ծախսված աշխատանքը մոտավորապես բաշխվում է հետևյալ բաժիններով.

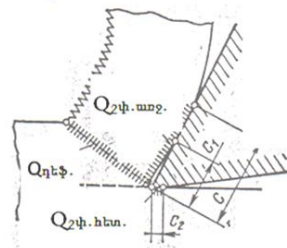
$$E_{\eta\epsilon\phi} \approx 55\%, E_{2\psi.առջ} \approx 35\%, E_{2\psi.հետ} \approx 10\%:$$

Գործիքի մեկ րոպեում անցած ճանապարհի դեպքում, կունենանք նույն ժամանակահատվածում ծախսված աշխատանքը.

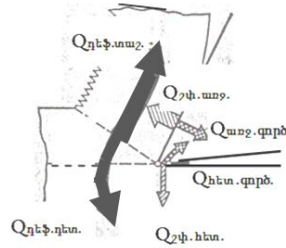
$$E = P_z \cdot V = P_s \cdot V_s + F \cdot P_F + F_1 \cdot V_{F_1}, \text{ կգ}\cdot\text{ու}\cdot\text{մ},$$

որտեղ V – կտրման արագությունը, մ/րոպե, P_s – սահքի ուժը կամ սահքի հարթությունով ազդող ուժը՝ կգ-ուժ-մ, V_s – սահքի արագությունը, մ/րոպե, F – գործիքի առջևի մակերևույթի վրա շփման ուժը, կգ-ուժ, F_1 – գործիքի հետին մակերևույթի շփման ուժը, կգ-ուժ, $V_F = \frac{V}{K_l}$ – առջևի մակերևույթով տաշեղի շարժման արագությունը, մ/րոպե, K_l – կծկման գործակիցը, $V_{F_1} = V$ – մշակված մակերևույթի շարժման արագությունը գործիքի հետին մակերևույթի նկատմամբ, մ/րոպե:

Նկ. 2.1-ում պատկերված է ջերմության աղբյուրների դասավորությունը, իսկ նկ. 2.2-ում՝ ջերմային հոսքերը դեպի տաշեղ, գործիք և դետալ:



Նկ. 2.1. Կտրման գոտում ջերմության առաջացման աղբյուրները



Նկ. 2.2. Դեպի տաշեղ, գործիք և դետալ ուղղված ջերմային հոսքերը

Դեֆորմացիայի $Q_{դեֆ.}$ ջերմությունն առաջանում է սահքերի գոտում, սահքի պայմանական հարթության վրա, գործիքի առջևի մակերևույթի վրա, շփումից անջատվող $Q_{շփ.առջ.}$ ջերմությունն առաջանում է գործիքի և տաշեղի C լայնությամբ հպման հարթակի սահմաններում, հետին մակերևույթի վրա շփումից անջատվող $Q_{շփ.հետ.}$ ջերմությունն առաջացում է գործիքի հետին մակերևույթի և կտրման մակերևույթի C_2 լայնությամբ հպման հարթակի վրա:

Կտրման ժամանակ առաջացող ջերմության քանակությունը կարելի է որոշել հետևյալ արտահայտությունից.

$$Q = Q_{դեֆ.} + Q_{շփ.առջ.} + Q_{շփ.հետ.} : \quad (2.1)$$

Այսպիսով, եթե կտրման աշխատանքը կամ նրա ցանկացած բաղադրիչը արտահայտված է կգ·ուծ·մ/րոպ·ով, ապա նրանց համապատասխանող անջատվող ջերմությունը կորոշվի հետևյալ կերպ.

$$Q_i = \frac{E_i}{427} \text{ կկալ/րոպ:}$$

Միավոր ժամանակում անջատվող ջերմության քանակությունը, որն առաջանում է մշակման ժամանակ՝ $Q = C \cdot P_z \cdot V$, որտեղ C – գործակից ($C = 0,97 \dots 0,995$): Ինչքան մեծ է տաշեղի դեֆորմացման աստիճանը, այնքան մեծ է C գործակիցը:

Ջերմության առաջացումը և նրա բաշխումն արտահայտվում է ջերմային բալանսի (հաշվեկշռի) հավասարումով.

$Q = Q_{\eta\epsilon\phi} + Q_{շփ.առջ} + Q_{շփ.հետ} = Q_{տաշ} + Q_{գոր} + Q_{\eta\epsilon\tau} + Q_{շրջ.միջ.},$ (2.2)
 որտեղ Q – կտրման ժամանակ առաջացող ջերմության քանակը, $Q_{\eta\epsilon\phi}$ – տաշեղագոյացման գոտում առաջացող ջերմության քանակը, $Q_{տաշ}, Q_{գոր}, Q_{\eta\epsilon\tau}$ – ջերմության քանակը, որն անցնում է համապատասխանաբար տաշեղին, գործիքին և դետալին, $Q_{շրջ.միջ.}$ – ջերմության քանակությունը, որն անցնում է շրջակա միջավայրին:

Ջերմության ամենամեծ քանակությունը (50...70%) անջատվում է տաշեղագոյացման գոտում: Մշակվող նյութի պլաստիկության և դեֆորմացման աստիճանի փոքրացումով անջատվող ջերմության քանակությունը փոքրանում է:

Գործիքի առջևի նիստի և տաշեղի շփումն առաջացնում է 20...40% ջերմություն:

Կտրիչներով մշակման ժամանակ հետին մակերևույթի շփումից առաջանում է 4...7% ջերմության քանակություն: Պետք է նշել, որ մաքրատաշ մշակման դեպքում, երբ գործիքի հետին մակերևույթի վրա ազդող ուժերը գերազանցում են առջևի մակերևույթի վրա ազդող ուժերին, հետին նիստի վրա առաջացող ջերմության բաժինը կարող է հասնել մինչև 60%:

Ջերմային բալանսի հավասարման աջ մասով որոշվում է ջերմության առաջացումը, իսկ ձախ մասով՝ նրա բաշխումը օբյեկտների վրա:

Ջերմության քանակության ամենամեծ մասը՝ 60...80%, անցնում է տաշեղին: Այդ բացատրվում է նրանով, որ տաշեղը ջերմություն է ստանում ջերմության ամենահզոր աղբյուրներից (նկ. 2.2): Կտրման արագության մեծացումով տաշեղին անցնող ջերմության քանակությունը և միջին ջերմաստիճանը նույնպես աճում են: Քանի որ առաջացող ջերմությունը համեմատական է ծախսված աշխատանքին, ջերմության քանակությունը կախված է մշակվող նախապատրաստվածքի տեսակից և մեխանիկական հատկություններից, գործիքի երկրաչափական պարամետրերից և կտրման ռեժիմներից: Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ ջերմության տոկոսային բաշխումը խիստ կերպով կախված է մշակվող նյութի տեսակից (աղ. 2.1):

Աղյուսակ 2.1

Անջատվող ջերմության ընդհանուր քանակությունը և ջերմության բաշխումը տաշեղի, դետալի և գործիքի միջև շրջատաշման ժամանակ ($f = 1,5$ մմ, $S = 0,12$ մմ/պտ; $V = 100$ մ/րոպ)

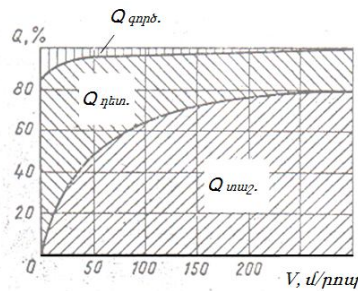
Մշակվող դետալի նյութը	Ջերմության ընդհանուր քանակությունը, կկալ/րոպե	Տաշեղի միջին ջերմաստիճանը, °C	Ջերմության քանակը, %		
			տաշեղում	դետալի մեջ	կտրիչում
Պողպատ 40X	12,9	420	71	26	1,9
Թուջ (HB207)	13	290	42	50	1,5
Ալյումին	8,7	140	21	73	2,2

Աղյուսակ 2.1-ից երևում է, որ պողպատի մշակման ժամանակ տաշեղի միջին ջերմաստիճանն ավելի բարձր է, քան թուջի և հատկապես ալյումինի մշակման դեպքերում, որը պայմանավորված է ինչպես պլաստիկ դեֆորմացման մեծ աշխատանքով, այնպես էլ առջևի մակերևույթի վրա շփման աշխատանքով: Թուջի մշակման ժամանակ տաշեղին փոխանցված ջերմության նվազումը կապված է կտրման ժամանակ տարրային տաշեղի առաջացման հետ: Պողպատի և թուջի համեմատ ալյումինի ավելի մեծ ջերմահաղոր-

դականության պատճառով, դեֆորմացիայի գոտուց ջերմությունը ինտենսիվորեն տարածվում է դետալի մեջ, կտրուկ փոքրացնելով տաշեղի մեջ մնացորդ ջերմության քանակը:

Ցանկացած նյութի տարբեր ռեժիմներով մշակման դեպքում, գործիքին փոխանցվող ջերմության քանակն անհամեմատ փոքր է տաշեղին և դետալին անցնող ջերմության քանակներից: Ասվածի հիմնական պատճառը կայանում է նրանում, որ համեմատած մշակվող նյութի հետ, գործիքանյութի ջերմահաղորդականությունն ավելի փոքր է:

Նկ. 2.3-ում ցույց է տրված կտրման արագության ազդեցությունը ջերմության բաշխման վրա՝ տաշեղի, մշակվող նյութի և գործիքի միջև:



Նկ. 2.3. Ջերմության բաշխումը տաշեղի, դետալի և գործիքի միջև, T60K6 կարծր համաձուլվածքե կտրիչով պողպատ 40X-ի մշակման ժամանակ ($t=1,5$ մմ, $S=0,12$ մմ/պտ)

Նկ. 2.3-ից հետևում է, որ ջերմության բաշխումը տաշեղի, դետալի և գործիքի միջև արմատական ձևով փոխվում է կտրման արագության մեծացման ժամանակ: Ջերմության քանակը, որն անցնում է տաշեղին, մեծանում է, իսկ դետալին և գործիքին անցնողը՝ փոքրանում: Օրինակ, $V = 20 \dots 50$ մ/րոպե արագությամբ պողպատ 40X-ի մշակման դեպքում, միջին հաշվով տաշեղին է փոխանցվում ջերմության մոտ 45%-ը, իսկ դետալին և գործիքին՝ համապատասխանաբար 47 և 4,5%-ը: $V = 100 \dots 300$ մ/րոպե կտրման արագության դեպքում, տաշեղին է անցնում ջերմության

մոտ 75%-ը, իսկ դետալին և գործիքին՝ համապատասխանաբար 22 և 1.5%-ը:

Արագության վերոնշյալ ազդեցությունը բացատրվում է արագության և դեֆորմացիայի գոտուց ջերմության տարածման արագության միջև եղած հարաբերակցության փոփոխությամբ: Սահքի պայմանական հարթությունից դեպի դետալ է անցնում $Q_{դեֆ.դ.}$ ջերմային հոսքը: Եթե կտրման արագությունը, այսինքն այն արագությունը, որով գործիքի կտրող սեպը հատում է ջերմային հոսքը, փոքր է, ապա ջերմությունը սահքի պայմանական հարթությունից անարգել անցնում է դետալին: Կտրման արագության մեծացման դեպքում կտրող սեպն ավելի արագ է սկսում հատել ջերմային հոսքը, որի հետևանքով ավելի փոքր ջերմային քանակ է հասցնում անցնել դետալին և ջերմության ավելի մեծ քանակություն մնում է տաշեղի մեջ: Արագության մեծացմանը համատեղ գործիքին անցնող ջերմության քանակի փոքրացումը կապված է առջևի նիստի հպման հարթակի լայնության փոքրացման հետ, որի միջոցով ջերմությունը տաշեղից անցնում է գործիքին:

Տաշեղի ջերմության և նրա միջին ջերմաստիճանի վրա ազդում են կտրման ռեժիմի V, S, t պարամետրերը: Դիտարկենք կտրման ռեժիմի առանձին պարամետրերի ազդեցությունը տաշեղի 1սմ³-ում պարունակվող ջերմության վրա՝ պողպատ 40X-ի մշակման ժամանակ:

1. Ջերմության տեսակարար քանակը՝ կախված կտրման t խորությունից ($S = 0,125 \frac{մմ}{սյտ}$, $V = 200 մ/րոպե$)

Կտրման խորությունը t , մմ	1	2	3	4
Ջերմության տեսակարար քանակությունը, կկալ/րոպ	0,57	0,49	0,48	0,46

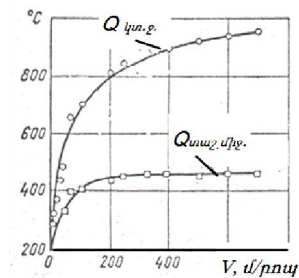
2. Ջերմության տեսակարար քանակը՝ կախված S մատուցումից ($t=1,5$ մմ; $V=200$ մ/րոպ)

Մատուցումը S , մմ/սյտ	0,106	0,126	0,17	0,22
Ջերմության տեսակարար քանակությունը, կկալ/րոպ	0,54	0,51	0,47	0,48

3. Ջերմության տեսակարար քանակը՝ կախված V արագությունից ($t=1,5$ մմ; $S=0,126$ մմ/սլո)

Կտրման արագությունը V , մ/րոպ	10,2	20,4	50,1	240	390
Ջերմության տեսակարար քանակությունը, կկալ/րոպ	0,19	0,25	0,32	0,53	0,55

Բերված տվյալները ցույց են տալիս, որ կտրման խորության մեծացումով ջերմության տեսակարար քանակը տաշեղում փոքրանում է, կտրման մատուցման մեծացումով՝ գործնականում մնում է հաստատուն, իսկ կտրման արագության մեծացման դեպքում՝ աճում է: Կտրման խորության և մատուցման մեծացումն ուղեկցվում է տաշեղի միջին ջերմաստիճանի փոքրացումով: Կտրման արագության մեծացման հետևանքով տաշեղի միջին ջերմաստիճանը սկզբում ինտենսիվորեն աճում է և կտրման արագության որոշակի արժեքից հետո այդ աճը համարյա դադարում է և այն շատ քիչ է կախված արագության հետագա ավելացումից (նկ. 2.4): Ընդ որում, տաշեղի միջին ջերմաստիճանը ձգտում է որոշակի սահմանի, որի մեծությունը կախված է մշակվող նյութի տեսակից և մեխանիկական հատկություններից, գործիքի երկրաչափությունից, կտրման խորությունից և մատուցումից:

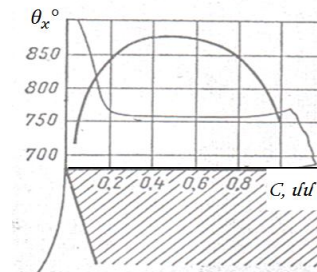


Նկ. 2.4. Կտրման V արագության ազդեցությունը կտրման θ ջերմաստիճանի վրա, T60K6 կարծր համաձուլվածքի կտրիչով պաղպառ 40X-ի շրջատաշման ժամանակ ($t=1,5$ մմ, $S=0,12$ մմ)

Անկախ այն հանգամանքից, որ գործիքին անցնող ջերմության բաժինը շատ փոքր է, գործիքի առջևի նիստի θ ջերմաստիճանը մի քանի անգամ գերազանցում է տաշեղի միջին ջերմաստիճանին (նկ. 2.4): Քանի որ առջևի նիստի հպատեղի ջերմաստիճանը մոտավորապես հավասար է տաշեղի հպատեղային մակերևույթի ջերմաստիճանին, ուրեմն այդ վկայում է այն մասին, որ ըստ հաստոյության, տաշեղի տարբեր շերտերի ջերմաստիճանները նույնը չեն և փոքրանում են՝ մոտենալով տաշեղի ազատ կողմին:

2.2. ԿՏՐՄԱՆ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆ

Նկ. 2.5-ում ցույց է տրած գործիքի առջևի մակերևույթի հպման հարթակի տարբեր կետերում θ_x ջերմաստիճանի փոփոխությունը:



Նկ. 2.5. Հպման հարթակի C լայնության վրա θ_x ջերմաստիճանի փոփոխությունը պաղպաղ 40X-ի շրջատաշման ժամանակ ($t=1,5$ մմ, $S=0,21$ մմ, $V=115$ մ/րոպ)

Նկարից երևում է, որ առավելագույն ջերմաստիճանը համապատասխանում է այն կետին, որը գտնվում է հպման հարթակի լայնության մոտավորապես կեսում: Դեպի հպման հարթակի սկիզբը և վերջը, ջերմաստիճանը նվազում է: Գործիքի հետին մակերևույթի և կտրման մակերևույթի հպման հարթակի վրա նույնպես ջերմաստիճանն անհավասարաչափ է բաշխվում: Այդ պատճառով կտրման θ ջերմաստիճան ասելով հասկանում ենք գործիքը տաշեղի և կտրման մակերևույթի հետ շփման միջին

ջերմաստիճանը: Կտրման ջերմաստիճանը որոշվում է հետևյալ ձևով.

$$\theta = \frac{\theta_{արջ.միջ.} \cdot C + \theta_{հետ.միջ.} \cdot C_2}{C + C_2},$$

որտեղ $\theta_{արջ.միջ.}$ և $\theta_{հետ.միջ.}$ – գործիքի և տաշեղի հպատեղի և գործիքի և կտրման մակերևույթի հպատեղի միջին ջերմաստիճանները:

Կտրման ջերմաստիճանը երբեմն անվանում են հպման ջերմաստիճան: Սուր գործիքի հետին մակերևույթի և կտրման մակերևույթի հպման հարթակի C_2 լայնությունը շատ փոքր է, որի պատճառով կտրման ջերմաստիճան ասելով կարելի է հասկանալ առջևի մակերևույթի և տաշեղի հպման հարթակի C լայնության միջին ջերմաստիճանը $\theta = \theta_{արջ.միջ.}$: Գործիքի առջևի նիստը տաքանում է դեֆորմացիայի և շփման ջերմությունների հաշվին: Այդ պատճառով կտրման ջերմաստիճանը հավասար է երկու ջերմաստիճանների՝ դեֆորմացիայի $\theta_{դեֆ.}$ ջերմաստիճանի և առջևի մակերևույթի վրա շփման միջին $\theta_{արջ.միջ.}$ ջերմաստիճանի գումարին, այսինքն՝ $\theta = \theta_{դեֆ.} + \theta_{արջ.միջ.}$:

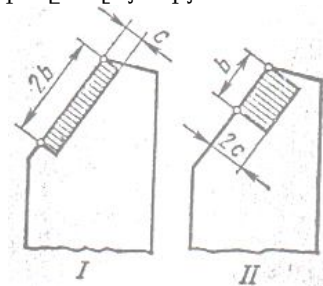
Որոշակի նյութի կտրման ժամանակ ջերմաստիճանը մեծանում է կտրման արագության և կտրվող շերտի չափերի մեծացման հետևանքով, բայց նրանց ազդեցությունը ջերմաստիճանի վրա տարբեր է: Չափումների հիման վրա ստացված է կտրման ջերմաստիճանի որոշման բանաձև՝ կախված կտրվող շերտի հաստությունից, լայնությունից և կտրման արագությունից, որը կիրառելի է տարբեր գործիքներով մշակման դեպքում.

$$\theta = C_{\theta} \cdot V^x \cdot a^y \cdot b^z : \quad (2.3)$$

C_{θ} գործակիցը կախված է մշակվող նյութի տեսակից և մեխանիկական հատկություններից, գործիքի երկրաչափական պարամետրերից և կիրառվող ք.հ.հ.-ի տեսակից: Ցանկացած տեսակի մշակման դեպքում x, y, z աստիճանացույցերը նույնը չեն, բայց պահպանվում է հետևյալ անհավասարությունը՝ $x > y > z$, այսինքն՝ կտրման ջերմաստիճանի վրա ամենամեծ ազդեցությունն ունի կտրման արագությունը, հետո՝ կտրվող շերտի հաստությունը

և ամենափոքրը՝ կտրման լայնությունը: $\frac{b}{a}$ հարաբերության մեծացման դեպքում կտրման ջերմաստիճանը փոքրանում է:

Նկ. 2.6-ում ցույց են տրված երկու միանման կտրիչներ, որոնք կտրում են միևնույն ընդլայնական հատույթի մակերեսով նյութի շերտեր՝ $F = 2ab$: I կտրիչը կտրում է $2b$ լայնության և a հաստության շերտ, իսկ II-ը՝ b լայնության և $2a$ հաստության շերտ:



Նկ. 2.6. Կտրման ջերմաստիճանի վրա կտրվող շերտի հաստության և լայնության ադդեցության բացատրման սխեման

Այսպիսով, կտրիչների առջևի մակերևույթի $2ab$ մակերեսով հպման հարթակի վրա ազդում են ջերմային աղբյուրներ, որոնց հզորությունը մոտավորապես նույնն է: Աղբյուրները սահում են տաշեղի հպման մակերևույթով այնպիսի արագությամբ, որը հավասար է տաշեղի արագությանը: Հաշվարկները ցույց են տալիս [Ծօժր.], որ շարժվող շերտավոր ջերմային աղբյուրի երկարության և լայնության հարաբերության մեծացման դեպքում, հպման մակերեսի սահմաններում, շփման միջին ջերմաստիճանը նվազում է: Ասածին կարելի է ավելացնել, որ I կտրիչի համար գործիքի մարմնի միջով ջերմության հեռացման պայմաններն ավելի նպաստավոր են, որովհետև ջերմության աղբյուրը կտրիչի գագաթից համեմատաբար ավելի հեռացված է, ինչը ևս նպաստում է կտրման ջերմաստիճանի նվազմանը: Այսպիսով, I կտրիչը պետք է ունենա ավելի փոքր կտրման ջերմաստիճան, քան II կտրիչը: Վերոնշյալից երևում է, որ կտրվող շերտի տրված հատույթի նույն մակերեսի դեպքում, կտրման ջերմաստիճանի փոքրացման համար անհրաժեշտ է

աշխատել $\frac{b}{a}$ - ի հնարավոր մեծ հարաբերությամբ, այսինքն՝ լայն և բարակ տաշեղներով:

Շրջատաշման ժամանակ (2.3) բանաձևում կտրվող շերտի ֆիզիկական չափերն արտահայտելով կտրման խորությունով, մատուցումով և հատակագծի գլխավոր անկյունով, կստանանք.

$$\theta = C_{\theta} \cdot V^x \cdot S^y \cdot t^z \cdot (\sin \varphi)^{y-z} : \quad (2.4)$$

Ստացված արտահայտությունից հետևում է, որ շրջատաշման ժամանակ կտրման ջերմաստիճանի վրա մատուցումը և կտրման խորությունն ազդում են նույն ինտենսիվությամբ, ինչպես ազդում են կտրող շերտի հաստությունը և լայնությունը: Հետևաբար, տրված կտրման խորության և մատուցման դեպքում, կտրման ջերմաստիճանը կարելի է փոքրացնել, փոքրացնելով φ անկյունը, որը բերում է $\frac{b}{a}$ հարաբերության մեծացմանը:

Կտրման ջերմաստիճանի վրա կտրման արագության ազդման ինտենսիվությունը նույնը չէ տարբեր կտրման արագությունների դեպքում: Նկ. 2.4-ից երևում է, որ ինչքան բարձր է կտրման արագությունը, այնքան նրա հետագա մեծացումը քիչ է ազդում կտրման ջերմաստիճանի վրա: Այդ է պատճառը, որ կտրման արագության ցուցիչը փոքրանում է արագության մեծացմանը զուգընթաց: Օրինակ, երբ $V < 100$ մ/րոպ, $x = 0,5 \dots 0,4$, իսկ $V > 100$ մ/րոպ – իդեպքում՝ $x = 0,4 \dots 0,25$:

Կտրման ջերմաստիճանի մակարդակը կախված է մշակվող նախապատրաստվածքի տեսակից և մեխանիկական հատկություններից: Մշակվող նյութի կարծրության և ամրության մեծացումով կտրման ջերմաստիճանն աճում է: Որովհետև թուջի մշակման ժամանակ տաշեղի միջին ջերմաստիճանն ավելի ցածր է, քան պողպատի մշակման դեպքում, թուջի կտրման ջերմաստիճանը մոտ 1.5 անգամ փոքր է:

Ստորև բերված են կտրման ջերմաստիճանների որոշման մի քանի կախվածություններ, որոնք ստացվել են փորձնական եղանակով:

➤ *T15K6* մակնիշի կարծր համաձուլվածքե կտրիչով կառուցվածքային պողպատների մշակման ժամանակ.

$$\theta = C_{\theta} \cdot V^{0,23} \cdot S^{0,14} \cdot t^{0,04},$$

➤ արագահատ պողպատե կտրիչով պողպատ 40XH մշակման ժամանակ.

$$\theta = 148,5 \cdot V^{0,4} \cdot S^{0,24} \cdot t^{0,1},$$

➤ արագահատ պողպատե կտրիչով թուջի մշակման դեպքում.

$$\theta = 138 \cdot V^{0,36} \cdot S^{0,133} \cdot t^{0,09}:$$

Գործիքի տաքացումը տեսանելի կերպով կախված է մշակվող նյութի և գործիքանյութի ջերմունակություններից և հատկապես՝ նրանց ջերմահաղորդականություններից: Օրինակ, գունավոր մետաղների մշակման ժամանակ կտրման ջերմաստիճանը ցածր է ոչ միայն փոքր բեռնվածության պատճառով, այլև նրանց բարձր ջերմահաղորդականության հետևանքով: Եվ, հակառակը, կրակադիմացկուն պողպատների և համաձուլվածքների մշակման ժամանակ, որոնք օժտված են ցածր ջերմահաղորդականությամբ, համեմատած սովորական կառուցվածքային պողպատների հետ, կտրման ջերմաստիճանը 2...3 անգամ բարձր է: նույնը կարելի է ասել նաև կտրող գործիքի մասին՝ ինչքան փոքր է նրա ջերմահաղորդականությունը, այնքան բարձր է կտրող եզրի ջերմաստիճանը:

Կտրման ջերմաստիճանի որոշման (2.3) բանաձևից x, y, z աստիճանացույցերը մշակման տարբեր պայմաններում փոխվում են նեղ միջակայքերում՝ $0,4 \leq x \leq 0,6; 0,2 \leq y \leq 0,3; 0,1 \leq z \leq 0,15$:

Բավականին կայունություն է դրսևորում ցուցիչների հետևյալ հարաբերակցությունը՝ $x = 2y = 4z$: Կտրման ռեժիմի պարամետրերի ազդեցությունը կտրման ջերմաստիճանի վրա գնահատելու համար առաջարկվում է օգտվել x, y, z ցուցիչների միջին արժեքներից, որոնց դեպքում կտրման ջերմաստիճանի որոշման բանաձևն ընդունում է հետևյալ տեսքը.

$$\theta = C_{\theta} \cdot V^{0,5} \cdot S^{0,25} \cdot t^{0,125} : \quad (2.5)$$

Կտրման ջերմաստիճանի բանաձևն ունի կարևոր նշանակություն: Այն օգտագործելով կարելի է լավարկել (օպտիմալացնել) կտրման գործընթացը: Ա.Դ.Մակարովը սահմանել է կտրմամբ մշակման ամենանպատակահարմար դրույթներից մեկը [8]: Ըստ այդ դրույթի, օպտիմալ կտրման ռեժիմին համապատասխանում է կտրման օպտիմալ ջերմաստիճան, անկախ այն

հանգամանքից, թե գործոնների ինչ գույակցումով է այն ստացվել: Ինչպես հետևում է ասվածից, կտրամաբ մշակումն անհրաժեշտ է իրագործել կտրման օպտիմալ ջերմաստիճանում:

2.3. ԿՏՐՄԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆ

Կտրման օպտիմալ ջերմաստիճանն այն ջերմաստիճանն է, որն ապահովում է մշակման ամենափոքր ինքնարժեք: Դրանից կախված, անհրաժեշտ է որոշել մշակման C_0 ինքնարժեքը, որը կախված կախված ջերմաստիճանից արտահայտվում է հետևյալ գումարով.

$$C_0 = C_{աշխ.} + C_{գոր.} + C_{հաս.}, \quad (2.6)$$

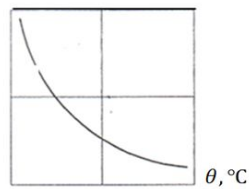
որտեղ $C_{աշխ.}$, $C_{գոր.}$, $C_{հաս.}$ – մեկ նախապատրաստվածքի մշակման համար կատարված ծախսերն են՝ կապված աշխատավարձի, գործիքի և հաստոցի շահագործման հետ:

Դիտարկենք նշված բաղադրիչների կապը կտրման ջերմաստիճանի հետ: Կտրմամբ մշակման գործընթացի ինտենսիֆիկացումը կարելի է կատարել մեկ կամ մի քանի պարամետրերի մեծացման ճանապարհով՝ կտրման արագության, մատուցման կամ խորության, ինչը բերում է արտադրողականության բարձրացմանը՝ մեկ դետալի պատրաստման ժամանակի (հատային ժամանակի) կրճատմանը: Աշխատավարձի բաղադրիչը որոշվում է հատային ժամանակով: Կտրման գործընթացի ինտենսիֆիկացումով կտրման ջերմաստիճանը մեծանում է: Ջերմաստիճանի մեծացումը բերում է հատային ժամանակի և մեկ դետալի մշակման աշխատավարձի փոփոխմանը (նկ. 2.7):

Կտրման ջերմաստիճանի աճը մեծացնում է կտրող գործիքի հետ կապված ծախսերը (նկ. 2.8), որովհետև փոքրանում է գործիքայության կարծրությունը, մեծանում է նրա մաշման ինտենսիվությունը: Դրա հետ մեկտեղ, փոքրանում է դետալների այն քանակությունը, որը պատրաստվում է մեկ գործիքով, նրա կայունության ժամանակամիջոցում:

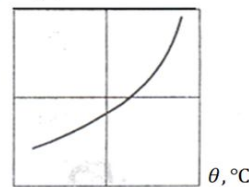
Հաստոցի շահագործման ծախսերն առաջանում են նրա սպասարկումից, էլեկտրաէներգիայից, քսուքանյութերից, վերանորոգման և ամորտիզացիոն ծախսերից: Այդ ծախսերը ներառվում են պատրաստի դետալների գնի մեջ՝ հաստոցի ծառայության ողջ ժամկետի ընթացքում:

$C_{աշխ.}, պ.դ.մ.$



Նկ. 2.7. Կտրման ջերմաստիճանի ազդեցությունը բանվորի աշխատավարձի վրա մեկ դետալի պատրաստման համար

$C_{գործ.}, պ.դ.մ.$



Նկ. 2.8. Կտրման ջերմաստիճանի ազդեցությունը գործիքի հետ կապված ծախսերի վրա

Կտրման ռեժիմի բարձրացման հետևանքով կտրման ջերմաստիճանի փոքրացումն ավելացնում է հաստոցի ծառայության ժամկետում պատրաստված դետալների քանակությունը և, հետևաբար, նվազեցնում է մեկ դետալի վրա կատարված ծախսերը (նկ. 2.9):

Գումարային ծախսերի (C_0) կախվածությունը կտրման ջերմաստիճանից, պատկերված է 2.10 նկարում, որտեղ երևում է θ_0 օպտիմալ ջերմաստիճանի դեպքում ծախսի ընդգծված ձևով նվազագույն արժեք:

Կտրմամբ մշակումն անհրաժեշտ է իրականացնել օպտիմալ ջերմաստիճանում: Այդ նպատակով անհրաժեշտ է իմանալ նրա քանակական կախվածությունը մշակման գործոններից: Նշված կախվածությունը կարելի է ներկայացնել հետևյալ բանաձևով.

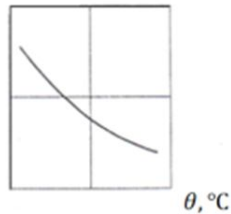
$$\theta_0 = \frac{K \cdot \theta_p \cdot C_h^q}{C_q^m}, \quad (2.7)$$

որտեղ K – գործակից, θ_p – թույլատրելի ջերմաստիճան գործիքանյութի համար, C_q – գործիքի կամ գործիքային կարգաբերման

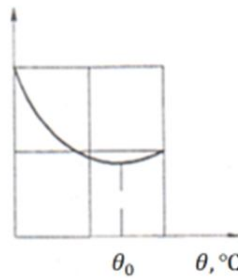
արժեքը, C_h – հաստոցի շահագործման ծախսեր, q , m – աստիճանացույցեր:

Ինչպես հետևում է (2.7) արտահայտությունից, կտրմամբ մշակման արտադրողականության բարձրացման համար անհրաժեշտ է օգտագործել մեծ ջերմակայունություն ունեցող գործիքանյութեր և նպաստել նրանց ռացիոնալ կիրառությանը:

C_h , պ.դ.մ.



C_{d2} , պ.դ.մ.



Նկ. 2.9. Կտրման ջերմաստիճանի ազդեցությունը հաստոցի շահագործման ծախսերի վրա, մեկ դետալի կտրումով մշակման ժամանակ

Նկ. 2.10. Կտրման ջերմաստիճանի ազդեցությունը մշակման ինքնարժեքի վրա, մեկ դետալի կտրումով մշակման ժամանակ

Մշակման արտադրողականությունը կարելի է բնութագրել միավոր ժամանակում կտրվող շերտի ծավալով՝ $U = V \cdot S \cdot t$: Այս կախվածությունից երևում է, որ կտրման արագությունը, կտրման խորությունը և մատուցումը նույն կերպով են ազդում արտադրողականության վրա:

Մշակման ցանկացած պայմաններում անհրաժեշտ է ապահովել սահմանված որակը և բավարարել երկու պայման.

1. ապահովել առավելագույն արտադրողականություն,
2. ապահովել կտրման օպտիմալ ջերմաստիճան:

Այդ պայմանները կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$A_{max} = V_{max} \cdot S_{max} \cdot t_{max} \cdot q_{օպ} = C \cdot V_{max}^{0,5} \cdot S_{max}^{0,25} \cdot t_{max}^{0,125} : \quad (2.8)$$

Նշված արտահայտություններից կարելի է ստանալ հետևյալը.

$$A_{max} = (V_{max}^{0,5} \cdot S_{max}^{0,25} \cdot t_{max}^{0,125}) \cdot (V_{max}^{0,5} \cdot S_{max}^{0,75} \cdot t_{max}^{0,875}) :$$

Քանի որ մշակման կոնկրետ պայմանների համար, որոնք բնութագրվում են գործիքի կտրող մասի նյութի մակնիշով և նրա արժեքով, մշակվող նախապատրաստվածքի մակնիշով, մետաղահատ հաստոցի տեսակով և անվանումով և այլն, օպտիմալ ջերմաստիճանը որոշակի է, ապա $C_1 = q_{\text{օպ}}/C$ հարաբերությունը նույնպես որոշակի և հաստատուն մեծություն է: Նկատի ունենալով, որ $C_1 = q_{\text{օպ}}/C = V_{\text{max}}^{0,5} \cdot S_{\text{max}}^{0,25} \cdot t_{\text{max}}^{0,125}$, կստանանք օպտիմալ ջերմաստիճանում առավելագույն արտադրողականության որոշման հետևյալ կախվածությունը.

$$A_{\text{max}} = C_1 \cdot V_{\text{max}}^{0,5} \cdot S_{\text{max}}^{0,75} \cdot t_{\text{max}}^{0,875} \quad (2.9)$$

կամ

$$\frac{A_{\text{max}}}{V_{\text{max}}^{0,5} \cdot S_{\text{max}}^{0,75} \cdot t_{\text{max}}^{0,875}} = C_1 = \text{const} :$$

Որպես օրինակ, դիտարկենք հետևյալ տարբերակները.

Երբ $C_1 = 1$	$V = 1$	$S = 1$	$t = 1$	$A = 1$
Երբ	$V = 2$	$S = 1$	$t = 1$	$A = 1,41$
Երբ	$V = 1$	$S = 2$	$t = 1$	$A = 1,68$
Երբ	$V = 1$	$S = 1$	$t = 2$	$A = 1,83$

Բերված օրինակից և (2.9) արտահայտությունից երևում է, որ օպտիմալ ջերմաստիճանի դեպքում, կտրմամբ մշակման ամենաբարձր արտադրողականություն կարելի է ապահովել կտրման խորության մեծացումով, ավելի փոքր՝ մատուցման մեծացումով, իսկ ամենափոքր արտադրողականություն ստացվում է կտրման արագության մեծացման դեպքում: Այդ պատճառով, կտրման ռեժիմի պարամետրերի ընտրման ժամանակ անհրաժեշտ է առաջին հերթին ապահովել հնարավոր առավելագույն կտրման t_{max} խորություն, հետո՝ S_{max} մատուցում, իսկ կտրման արագությունն ընտրել այնպիսին, որպեսզի ապահովվի օպտիմալ կտրման ջերմաստիճան: Հետևաբար, կտրման խորության և մատուցման ընտրությունը հիմնականում կապված չէ կտրման ջերմաստիճանի հետ: Նրանք ունեն իրենց սահմանափակումները, իսկ կտրման արագությունը սահմանափակվում է կտրման ջերմաստիճանով:

2.4. ԿՏՐՈՂ ԳՈՐԾԻՔԻ ՀՊՄԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՎՐԱ ՁԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ձերմաստիճանի որոշման փորձնական եղանակն ունի մի շարք թերություններ, այն կապված է նյութական ծախսերի հետ, չափվող օբյեկտների մեջ ջերմագույգ տեղադրումն աղավաղում է ջերմային իրավիճակը տրված կետում և հատկապես՝ կետերի բազմությունում: Հաշվիչ տեխնիկայի անընդհատ զարգացումը նպաստում է ջերմաստիճանի անալիտիկ որոշման եղանակի զարգացմանը և ներդրման տարածմանը:

Ընդհանուր դեպքում ջերմության տեղաշարժը կարող է կատարվել ջերմահաղորդականության, ջերմափոխանցման (կոնվեկցիա) և ջերմաճառագայթման ճանապարհով: Իրական գործընթացներում նրանք կարող են կատարվել ինչպես առանձին, այնպես էլ տարբեր համակցություններով:

Ձերմահաղորդականությունն իրենից ներկայացնում է ավելի տաք մարմնից կամ նրա տեղամասից ավելի սառը մարմնին ջերմության փոխանցման գործընթաց: Այն իրականացվում է ջերմության տարածման ուղղությամբ մոլեկուլների և ատոմների կինետիկ էներգիայի փոխանցման ճանապարհով, առանց տվյալ մարմնի մասնիկների տեղաշարժի:

Ձերմափոխանցում (կոնվեկցիա) – շարժվող միջավայրի միջոցով ջերմության տեղափոխում: Այն կատարվում է հեղուկներում և գազերում: Այս գործընթացում ջերմությունը պինդ մարմնից փոխանցվում է, երբ նրա մակերևույթը շփվում է հեղուկի կամ գազի հետ:

Ձերմային ճառագայթում - ջերմության փոխանցման գործընթաց, նրա ճառագայթային էներգիայի վերափոխման ճանապարհով և այլ մարմնի կողմից այդ էներգիան ջերմային էներգիայի փոխակերպումով:

Տեխնոլոգիական համակարգերում կատարվող ջերմային գործընթացներում ամենամեծ նշանակությունն ունի ջերմահաղորդականությունը, իսկ ամենափոքրը՝ կոնվեկցիան:

2.5. ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԴԱՇՏ

Պինդ մարմնի ջերմային վիճակը որոշակի է, եթե ժամանակի ցանկացած պահի համար հայտնի է նրա յուրաքանչյուր կետի ջերմաստիճանը: Ջերմաստիճանների բազմությունը, որոնք ներկայացնում են մարմնի յուրաքանչյուր կետի ջերմաստիճանը ժամանակի ցանկացած պահին, կոչվում է ջերմաստիճանային դաշտ: Այդ բազմությունը կարելի է ներկայացնել հավասարումով, որը ընդհանուր ձևով ունի հետևյալ տեսքը.

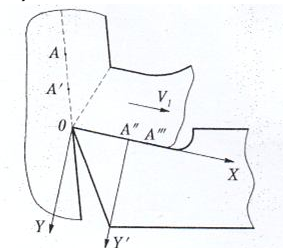
$$\theta(x, y, z, T) = 0, \quad (2.10)$$

որտեղ x, y, z – կոորդինատների ընտրված համակարգում այն կետի տարածական կոորդինատները, որի ջերմաստիճանը պետք է որոշվի, T – ժամանակ, որն անցել է հաշվարկի սկզբից հետո, մինչև դիտարկման պահը: Եթե մարմնի ջերմաստիճանը ժամանակի ընթացքում չի փոխվում, ապա այդպիսի ջերմաստիճանային դաշտը կոչվում է հաստատուն: Ընդհանուր տեսքով այն ներկայացվում է հետևյալ հավասարումով (առանց ժամանակի).

$$\theta(x, y, z) = 0:$$

Եթե ժամանակի ընթացքում ջերմաստիճանը փոփոխվում է, ապա ջերմաստիճանային դաշտը կոչվում է ոչ հաստատուն:

Դիտարկենք կտրիչի առջևի մակերևույթով շարժվող տաշեղի ջերմային վիճակը (նկ. 2.11):



Նկ. 2.11. Տաշեղի քվադրիկայուն ջերմային դաշտի բացատրման վերաբերյալ

Մշակվող նյութի A կետը հաջորդաբար գրավում է A', A'', A''' դիրքերը և այլն: Առջևի նիստի և տաշեղի շփման պատճառով

անջատվող ջերմության հետևանքով, այդ կետի շրջակայքում ջերմաստիճանը բարձրանում է: Այդ պատճառով, A կետին մոտ գտնվող տաշեղի տարրի ջերմաստիճանն անընդհատ կբարձրանա, նրա A', A'', A''' դիրքեր զբաղեցնելու հետևանքով, և տաշեղի ջերմաստիճանային դաշտը կլինի ոչ հաստատուն (ոչ կայուն): Միաժամանակ պետք է նշել, որ կոորդինատային x, y համակարգում յուրաքանչյուր A', A'', A''' կետերի համար ջերմաստիճանը հաստատուն է, քանի որ ժամանակի ցանկացած պահին A'' կամ A''' կետերում գտնվող տաշեղի ջերմաստիճանը կլինի հաստատուն և այդ ջերմաստիճանը տվյալ կետի բնութագիրն է: Այսպիսով, տարածության կետերի ջերմաստիճանը, որոնց դիրքը որոշակի է կոորդինատային XOY անշարժ համակարգում, ըստ ժամանակի կլինի հաստատուն, և ջերմաստիճանային դաշտը կլինի կայուն: Իրականում, տաշեղի յուրաքանչյուր կետի ջերմաստիճանը պետք է փոխվի, որը կապված է գործիքի և տաշեղի շփումից առաջացած և դեպի տաշեղն ուղղված ջերմային հոսքի հետ:

Եթե կոորդինատային առանցքներից մեկի երկարությամբ ջերմաստիճանը չի փոխվում, ապա ջերմաստիճանային դաշտը երկչափանի է և նկարագրվում է հետևյալ հավասարումներով.

$$\theta(x, y, T) = 0, \quad \frac{d\theta}{dz} = 0:$$

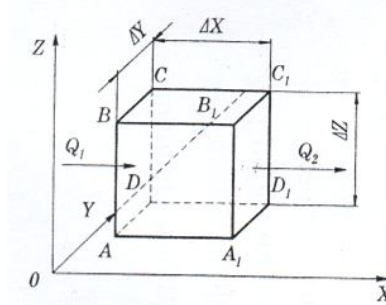
Եթե ջերմաստիճանը փոխվում է կոորդինատային առանցքներից միայն մեկի երկարությամբ, ապա ջերմաստիճանային դաշտը միաչափ է և ներկայացվում է հետևյալ կախվածություններով.

$$\theta(x, T) = 0, \quad \frac{d\theta}{dy} = 0, \quad \frac{d\theta}{dz} = 0:$$

2.6. ԶԵՐՄԱՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄԸ

Դիտարկենք տարրային խորանարդի ջերմային վիճակը, որի կողերը զուգահեռ են կոորդինատային OX, OY, OZ առանցքներին և ունեն համապատասխանաբար $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ չափեր (նկ. 2.12):

Դիցուք ∂T ժամանակի ընթացքում $ABCD$ նիստով՝ ջերմահաղորդականության հաշվին խորանարդ է մտնում ջերմության Q_1 քանակություն, իսկ $A_1B_1C_1D_1$ նիստից դուրս է գալիս ջերմության Q_2 քանակություն: Որովհետև ջերմային հոսքն ուղղված է ձախից աջ (նկ. 2.12) և համընկնում է OX առանցքի դրական ուղղության հետ, ապա ձախ նիստի ջերմաստիճանը մեծ է աջ նիստի ջերմաստիճանից:



Նկ. 2.12. Տարրական խորանարդը Q_1 և Q_2 ջերմային հոսքերով

Ենթադրենք $A_1B_1C_1D_1$ աջ նիստի ջերմաստիճանը հավասար է θ -ի, որի դեպքում $ABCD$ ձախ նիստի ջերմաստիճանը կլինի.

$$\theta + \Delta X \frac{\partial \theta}{\partial x} : \quad (2.11)$$

$ABCD$ նիստով մտնող ջերմության քանակությունը.

$$Q_1 = \lambda \frac{\partial \left(\theta + \Delta x \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)}{\partial x} \cdot \Delta z \cdot \Delta y \cdot \Delta T : \quad (2.12)$$

$A_1B_1C_1D_1$ նիստով հեռացող ջերմության քանակությունը.

$$Q_2 = \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \cdot \Delta z \cdot \Delta y \cdot \partial T : \quad (2.13)$$

Խորանարդի մեջ մնացող ջերմության քանակություն կկազմի.

$$\begin{aligned} dQ_x = Q_1 - Q_2 &= \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \cdot \Delta z \cdot \Delta y \cdot \partial T + \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \partial T - \\ &- \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \cdot \Delta z \cdot \Delta y \cdot \partial T = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \partial T : \end{aligned} \quad (2.14)$$

Նման ձևով կարելի է որոշել խորանարդում մնացող ջերմության քանակը, որն առաջանում է կոորդինատային OY և OZ

առանցքներին ուղղահայաց նիստերով ջերմության քանակների մուտքերի և ելքերի տարբերությունների հաշվին.

$$dQ_y = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \partial T,$$

$$dQ_z = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \partial T :$$

∂T ժամանակամիջոցում խորանարդում կուտակված ջերմության ընդհանուր քանակությունը կլինի.

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z = \lambda \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \partial T: (2.15)$$

Այս ջերմությունը կբերի ջերմաստիճանի բարձրացման $\partial \theta$ մեծությունով, որը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\partial \theta = \frac{dQ}{c \cdot \rho \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z}, \quad (2.16)$$

որտեղ c - խորանարդի տեսակարար ջերմունակությունը, Ջոուլ/գ.աստ, ρ - նյութի խտությունը, գ/սմ³:

dQ -ն փոխարինելով (2.15) արտահայտությամբ, կստանանք.

$$\frac{\partial \theta}{\partial T} = \frac{\lambda}{c\rho} \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right): \quad (2.17)$$

$\frac{\lambda}{c\rho} = \omega$ մեծությունը կոչվում է ջերմաստիճանահաղորդման գործակից: Այն հանդիսանում է նյութի համար հաստատուն և բնութագրում է ջերմաստիճանի հավասարեցման արագությունը:

Ջերմահաղորդականության (2.17) հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$\frac{\partial \theta}{\partial T} = \omega \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = \omega \cdot \Delta^2 \theta, \quad (2.18)$$

որտեղ Δ^2 -ն Լապլասի օպերատորն է.

$$\Delta^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}:$$

Եթե տարրային խորանարդում ջերմային հոսքեր ստեղծող ջերմության աղբյուրը (նկ. 2.12) տեղաշարժվում է նրա նկատմամբ, ապա ջերմահաղորդականության հավասարումը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$\frac{\partial \theta}{\partial T} = \frac{\lambda}{c\rho} \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + V_x \frac{\partial \theta}{\partial x} + V_y \frac{\partial \theta}{\partial y} + V_z \frac{\partial \theta}{\partial z}, \quad (2.19)$$

որտեղ V_x, V_y, V_z – աղբյուրի շարժման արագության վեկտորի պրոեկցիաներն են կոորդինատային առանցքների վրա:

- Երկչափանի ջերմաստիճանային դաշտի համար.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial T} = \frac{\lambda}{c\rho} \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right): \quad (2.20)$$

- Միաչափ ջերմաստիճանային դաշտի համար.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial T} = \frac{\lambda}{c\rho} \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}: \quad (2.21)$$

- Հաստատուն եռաչափ ջերմաստիճանային դաշտի համար.

$$\frac{\partial \theta}{\partial T} = 0, \quad \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = 0: \quad (2.22)$$

2.7. ՋԵՐՄԱՆԱԴՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՀԱՎԱՍԱՐՄԱՆ ՀԻՄՆԱՐԱՐ ԼՈՒԾՈՒՄԸ

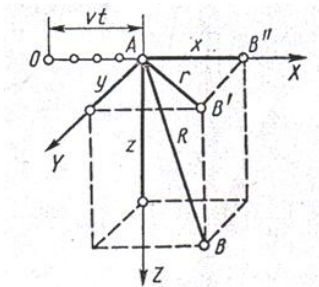
Հայտնի է ջերմահաղորդականության դիֆերենցիալ (2.17) հավասարման լուծման տարբեր եղանակներ, որոնցից են՝ ինտեգրալ ձևափոխության դասական եղանակը, ջերմության աղբյուրների, թվային, մոդելավորման եղանակները: Կտրման գործընթացում ջերմային իրավիճակի ուսումնասիրման ավելի արդյունավետ միջոց է հանդիսանում ջերմության աղբյուրների եղանակը: Այս եղանակի հիմքում ընկած է դիֆերենցիալ հավասարման լուծման այն եղանակը, որն առաջին անգամ առաջարկվել է Կելվինի կողմից [5,8], հետևյալ պայմանների դեպքում: Եթե շատ մեծ չափերով համասեռ մարմնի մեջ ժամանակի $T = 0$ պահին բռնկվում և ակնթարթորեն մարում է կետային աղբյուրը, որն անջատում է q Ջոուլ ջերմություն, ապա $M(x, y, z)$ կետում ժամանակի T պահին ջերմաստիճանը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ, որը հանդիսանում է (2.17) հավասարման լուծումը.

$$\theta(x, y, z, T) = \frac{q}{\lambda \sqrt{\omega} (4\pi T)^{3/2}} \cdot e^{-\frac{R^2}{4\omega T}}, \quad (2.23)$$

որտեղ R -ը $M(x, y, z)$ կետի հեռավորությունն է այն կետից, որտեղ բռնկվել է կետային ջերմության աղբյուրը կամ այլ կերպ՝ շառավիղ-վեկտորի տարածական մեծությունը, որը հանդիսանում է B դաշտի տարրի հեռավորություն A ջերմային աղբյուրից (նկ. 2.13).

$$R^2 = (x - x_u)^2 + (y - y_u)^2 + (z - z_u)^2,$$

x_u, y_u, z_u — M կետի կոորդինատները, որտեղ բռնկվել է աղբյուրը, T ժամանակում, որն անցել է այն պահից, երբ աղբյուրը ակնթարթորեն բռնկվել և մարել է մինչև ժամանակի այն պահը, երբ որոշվում է ջերմաստիճանը M կետում:



Նկ. 2.13. Ջերմաստիճանային դաշտի հաշվարկը

Ջերմահաղորդականության դիֆերենցիալ հավասարման հիմնարար լուծումը (2.23) կիրառելի է մի շարք տեխնոլոգիական խնդիրների հետազոտման դեպքերում: Օրինակ, կտրման գոտում (գործիք-տաշեղ-դետալ) ջերմաստիճանների դաշտի հաշվարկի ժամանակ, երբ արվում են հետևյալ ենթադրությունները. 1. տաշեղը դիտարկվում է որպես անսահման ձող, դետալը՝ կիսաանսահման մարմին, իսկ գործիքը՝ որպես կոշտ, ոչ սիմետրիկ սեպ, 2. ամբողջ դեֆորմացված ծավալը փոխարինվում է միայն մեկ՝ սահքապոկման կամ նույնն է հերձման մակերևույթով (հաստատուն ինտենսիվությամբ հարթ, թեքված ջերմային աղբյուր), ինչը զգալիորեն փոքրացնում է դեֆորմացիայի ժամանակ անջատվող ջերմության քանակությունը, 3. ընդունվում է, որ կտրող սեպի և

մշակվող նյութի հպման հարթակներում առաջանում են հաստատուն ինտենսիվությամբ հարթ աղբյուրներ:

Աղբյուրների եղանակը հնարավորություն է տալիս հաշվի առնել դետալների սահմանափակ չափերը և աղբյուրից ջերմության տարածման բնույթը, ընդունելով, որ սահմանափակող մակերևույթներն արգելակում են ջերմային հոսքերը (անդրադարձների եղանակ): Այս դեպքում ներմուծվում են լրացուցիչ (անդրադարձված) լուսային աղբյուրներ, որոնք ազդում են ջերմաստիճանային դաշտի վիճակի վրա այնպես, ինչպիսին ջերմափոխանակությունն է սահմանափակող մակերևույթների վրա: Բավականին հաջող է դրսևորում աղբյուրների եղանակի և նմանության տեսության հիմնական դրույթների զուգակցման եղանակը, որի կիրառումը հնարավորություն է տվել որոշել կտրման ջերմաստիճանը [5].

$$\theta = \theta_o + \frac{\xi \cdot e_\eta}{A \cdot \rho_o} + 0,754 \frac{\sqrt{\omega_o}}{\lambda_o} \cdot q_{2\psi.առջ.} \sqrt{\frac{c}{V_{տաշ}}}, \quad (2.24)$$

որտեղ θ_o -ն կտրվող շերտի սկզբնական ջերմաստիճանը,

ξ - տաշեղում մնացած ջերմության քանակությունը հաշվի առնող գործակից,

e_η - դեֆորմացիայի տեսակարար աշխատանքը ($e_\eta = \frac{E_\eta}{a \cdot b \cdot v}$),

$E_\eta = Q_\eta \cdot A$ - դեֆորմացիայի վրա ծախսված աշխատանքը,

Q_η - դեֆորմացման ջերմությունը,

A - ջերմության մեխանիկական համարժեքը,

λ_o և ω_o - մշակվող նյութի համապատասխանաբար ջերմահաղորդականության և ջերմաստիճանահաղորդականության գործակիցները,

$q_{2\psi.առջ.}$ - գործիքի առջևի մակերևույթի շփման ջերմաստիճանը,

c -հպման հարթակի լայնությունը գործիքի առջևի մակերևույթի վրա,

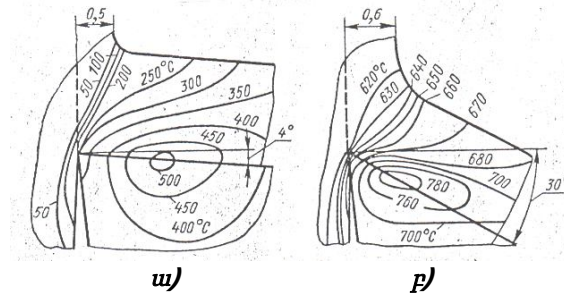
$V_{տաշ}$ - շարժվող ջերմության աղբյուրի արագությունն է, որը հավասար է տաշեղի արագությանը և ուղղված է նրան հակառակ:

Կտրման ջերմաստիճանի որոշման (2.24) բանաձևով հաշվարկների ժամանակ անհրաժեշտ է պահպանել մեծությունների հետևյալ չափողականությունները.

$q_{\text{շփ.առք}}$ [կալ/սմ²·վրկ], c [սմ], $V_{\text{տաշ}}$ [սմ/վրկ], $e_{\text{դեֆ}}$ [գ·սմ/սմ³]:

Նկ. 2.14-ում ցույց են տրված տարբեր հետազոտողների կողմից փորձնական ճանապարհով (ռադիացիոն-օպտիկական եղանակ) և աղբյուրների եղանակով հաշվարկած ջերմային դաշտերը, որոնք ստացված են մոտավորապես նույն պայմաններում՝ պողպատի ազատ կտրմամբ [11]:

Չնայած նրան, որ գոյություն ունի բերված թվային արժեքների անհամապատասխանություն, որոնք կապված են չափումներում և հաշվարկներում թույլ տրված սխալների հետ, իզոթերմների (հավասարաջերմագծերի) բաշխման ընդհանուր որակական պատկերը նույնական է: Կտրման գոտում ջերմաստիճանների բաշխումը համապատասխանում է դեֆորմացիաների դաշտի ժամանակակից պատկերացումներին, իսկ առավելագույն ջերմաստիճաններն առաջանում են առավելագույն դեֆորմացիաների գոտում և հպման հարթակների վրա:



Նկ. 2.14. Ջերմաստիճանային դաշտերը կտրման գոտում (նյութը՝ պողպատ 45). ա-հաշվարկային եղանակ ($V=26,2$ մ/րոպ, $a = 0,5$ մմ, $\gamma = 4^\circ$), բ-ռադիացիոն-օպտիկական փորձնական եղանակ ($V=23$ մ/րոպ, $a = 0,6$ մմ, $\gamma = 30^\circ$)

Աղբյուրների եղանակով ջերմաստիճանային դաշտի հաշվարկները հնարավորություն են տալիս հիմնավորել այս կամ այն քսուքահովացնող նյութի կիրառումը, նրա առբերումը կտրման

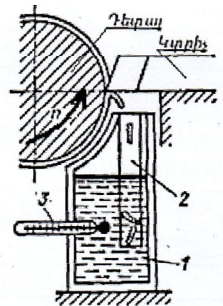
գոտի, ներքին հովացմամբ գործիքների նախագծումը: Կտրման գոտում ջերմաստիճանային դաշտի անալիտիկորեն կառուցման դեպքում, հնարավորություն է ստեղծվում ջերմաստիճանի փոփոխություններից կախված, հաշվի առնել ջերմաֆիզիկական պարամետրերի ($\lambda, \alpha_\theta, c, \theta_{hwl}$) փոփոխությունը և գնահատել նրանց ազդեցությունը կտրմամբ մշակելիության վրա:

Հաշվարկային եղանակների արդյունքները, որոնք հաստատված են փորձերով, հնարավորություն են ընձեռում ընդլայնել կտրման ժամանակ ջերմային գործընթացների մասին եղած պատկերացումները և կառավարել այդ գործընթացները:

2.8. ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՓՈՐՁԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

Կալորիմետրական եղանակ: Ժամանակակից հետազոտություններում կիրառում են ջերմային երևույթների ուսումնասիրման բազմաթիվ եղանակներ, որոնք հիմնված են այդ երևույթների տարբեր դրսևորումների վրա: Ջերմաստիճանի որոշման առաջին հետազոտությունները կատարվել են կալորիմետրական եղանակի կիրառմամբ:

Կալորիմետրական եղանակը հնարավորություն է տալիս որոշել տաշեղին, դետալին և գործիքին անցնող ջերմության քանակը: Կալորիմետրը տեղակայվում է կտրիչի առջևի մակերևույթի դիմաց (նկ. 2.15):



Նկ. 2.15. Կալորիմետրի կիրառումը տաշեղին անցնող ջերմության քանակության և միջին ջերմաստիճանի որոշման համար

Տաշեղը հավաքվում է 2 ցանցի մեջ: Կալորիմետրի իրանի մեջ տեղակայված է սնդիկային 3 ջերմաչափը: Դետալը պտտվում է դեպի ձախ, ինչն ապահովում է տաշեղի հավաքումը կալորիմետրում: Տաշեղի կամ կտրիչի միջին ջերմաստիճանը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\theta = \theta_{ju} + \frac{G_{\varphi}(\theta_{ju} - \theta_{\varphi})}{c \cdot G},$$

որտեղ θ_{ju} – խառնուրդի ջերմաստիճանը (ջրի ջերմաստիճանը կտրման գործընթացից հետո), G_{φ} – ջրի զանգվածը կալորիմետրում (գ), θ_{φ} – ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը, G – տաշեղի կամ կտրիչի զանգվածը (գ), c – տաշեղի կամ կտրիչի ջերմունակությունը (կալ): Ջերմության քանակը, որն անցնում է տաշեղին կամ կտրիչին, որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$Q = (C_m \theta - C_u \theta_u) G,$$

որտեղ C_m – տաք տաշեղի կամ կտրիչի ջերմունակությունը (կալ), θ_u – տաշեղի կամ կտրիչի սկզբնական ջերմաստիճանը, C_u – սառը տաշեղի կամ կտրիչի ջերմունակությունը (կալ):

Ջերմագայուն ներկերի օգտագործման եղանակ: Արագ, բայց համեմատաբար կոպիտ եղանակներից է: Ջերմագայուն ներկերը արտադրվում են մածուկների, լաքերի և մատիտների տեսքով, կարող են ունենալ նախնական գույնին վերադարձման հատկություն և թույլ են տալիս որոշել մակերևույթի մոտավոր ջերմաստիճանը: Եղանակը կարելի է կիրառել, եթե չափման ենթակա զանգվածները բավականին մեծ են՝ համեմատած օգտագործվող ներկի զանգվածի հետ: Չափման ժամանակն այս դեպքում էական նշանակություն չունի և ջերմաստիճանը որոշակի մոտավորությամբ պետք է հայտնի լինի, որ նախապես ընտրվի ջերմաստիճանների անհրաժեշտ սահմաններում աշխատող ներկի մակնիշը կամ ներկերի խումբը:

Օպտիկա-ռադիացիոն և լուսակեկտրական եղանակները

հնարավորություն են տալիս պատկերացում կազմել կտրման գոտում ջերմաստիճանների բաշխման մասին՝ տաշեղի, գործիքի և մշակվող դետալի ջերմային ճառագայթումների գրանցման միջոցով: Այս եղանակները կապված են բարդ օպտիկական կայանքների կամ

լուսաէլեկտրական տվիչների կիրառման հետ: Ջերմաստիճանի ազդման հետևանքով մետաղներում տեղի են ունենում կառուցվածքա-փուլային փոխարկումներ և միկրոկարծրության փոփոխություն: Այդ երևույթն օգտագործվում է միկրոկառուցվածքի անալիզի և միկրոկարծրության չափման միջոցով հետազոտել ջերմաստիճանային դաշտերը: Դրա համար անհրաժեշտ է իմանալ տարբեր նյութերի ջերմաստիճանը և կառուցվածքային փոխարկումների ժամանակը: Եղանակը հնարավորություն է տալիս կառուցել իզոթերմերը գործիքի առջևի և հետին մակերևույթների վրա:

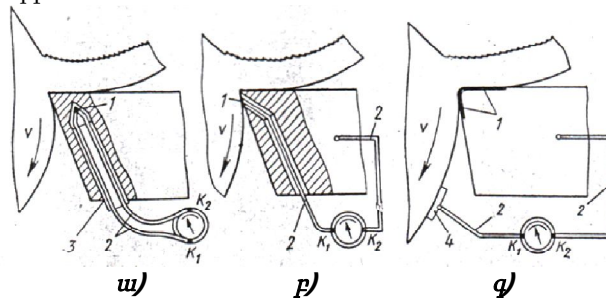
Կտրման ջերմաստիճանի չափումը էլեկտրաէներգիայի ծախսի որոշման եղանակով: Կտրման գործընթացի ջերմային բալանսը երբեմն որոշում են **վատումետրով**, կտրման նպատակով օգտագործվող էլեկտրական էներգիայի հզորության չափումների միջոցով: Այս դեպքում պարտադիր է կատարել հզորության չափումներ հաստոցի պարապ ընթացքի ժամանակ նույն ռեժիմներով, բայց առանց տաշեղահանման, որպեսզի ապագա հաշվարկներում անջատվի էներգիայի ոչ արդյունավետ ծախսը:

Կտրման ջերմաստիճանի չափումը ջերմազույգերի միջոցով: Չափման տեխնիկայի զարգացումը հնարավորություն տվեց կիրառել գործիքների կամ նախապատրաստվածքների մեջ ներդրվող ջերմազույգեր և ջերմաստիճանի չափումները կատարել անմիջապես կտրման ընթացքում: Մշակման ընթացքում էլեկտրահաղորդիչ գործիքանյութերից պատրաստված գործիքների և մշակվող, նույնպես էլեկտրահաղորդիչ նախապատրաստվածքների միջև առաջանում է էլեկտրական պոտենցիալների տարբերություն, որի մեծությունը կախված է միայն հպման տեղամասի միջին ջերմաստիճանից: Չափման այս եղանակը կոչվում է «բնական ջերմազույգի եղանակ»: Կտրման գործընթացում կատարված փորձերի ժամանակ գրանցվում են առաջացած *ջերմա-էլ. շ. ուները* միլիվոլտերով, որոնք համեմատվում են ջերմաստիճանների էտալոնային *ջերմա-էլ. շ. ու -ջերմաստիճան* կախվածության հետ: Կիրառվում է նաև «կիսաարհեստական» ջերմազույգի եղանակը, երբ գործիքը ջերմազույգի օղակներից մեկն է, իսկ մյուս

օղակը տեղադրվում է հետագոտվող մարմնի ներսում նախապես մշակված անցքում տեղադրված մեկուսիչի մեջ, զոդելով այն մարմնի նյութի հետ՝ հնարավորինս մոտ կտրման գոտուն: Այս դեպքում ջերմաստիճանը որոշվում է նույն սկզբունքներով, ինչպես որ բնական ջերմազույգերի միջոցով ջերմաստիճանի չափման ժամանակ:

Արհեստական, կիսաարհեստական և բնական ջերմազույգերով կտրման ջերմաստիճանի չափման եղանակների սկզբունքային սխեմաները պատկերված են նկ. 2.16-ում:

Նկարներում՝ 1 – հպման տեղամասերը, 2 – հաղորդալարեր, որոնցով ջերմազույգերը միանում են չափող գալվանոմետրի K_1 և K_2 մուտքային հպակներին: Արհեստական ջերմազույգով կտրման ջերմաստիճանի չափման դեպքում, (նկ. 2.16, ա), կտրող սեպի մեջ անցք է մշակված և նրանում տեղադրված է մեկուսիչ 3 խողովակը, որի ներսում տեղակայվում է ստանդարտ ջերմազույգը (օրինակ, քրոմել-ալյումել), այն 2 լարերով միացված է գալվանոմետրի հպակներին:



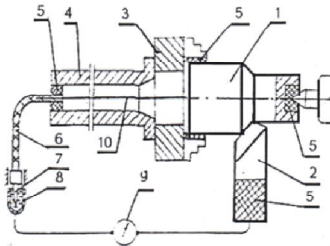
Նկ. 2.16. Կտրման ջերմաստիճանի չափման եղանակները.
ա – արհեստական ջերմազույգի միջոցով
բ – կիսաարհեստական ջերմազույգի օգնությամբ
գ – բնական ջերմազույգի եղանակով:

Նկ. 2.16, բ – ում պատկերված է նմանատիպ սխեմա, այն տարբերությամբ, որ ստանդարտ ջերմազույգի փոխարեն այստեղ առկա է նրա միայն մեկ օղակը, օրինակ, քրոմից պատրաստվածը, իսկ երկրորդ օղակի դերը կատարում է կտրիչանյութը, որի մեջ

մշակված անցքի մեջ եռակցված կամ գողված է ջերմագույգի մեկ թևը: Նկ. 2.16, գ-ում պատկերված **«բնական ջերմագույգի»** եղանակի դեպքում որպես ջերմագույգի օղակներ են ծառայում կտրիչը և մշակվող նյութը:

Արհեստական ջերմագույգի եղանակի առավելությունն այն է, որ օգտագործվում են ստանդարտ ջերմագույգեր, նախապես հայտնի բնութագրերով, ինչի պատճառով ջերմագույգի աստիճանավորման անհրաժեշտություն չի առաջանում:

Պարզ և կատարելագործված եղանակ է ջերմաստիճանի չափումը **բնական ջերմագույգով** (նկ. 2.17): Եղանակի էությունն այն է, որ կտրման գործընթացում գործիքի առջևի մակերևույթի և տաշեղի շփման տեղամասում, ինչպես նաև գործիքի հետին մակերևույթի և կտրման մակերևույթի հպատեղում, բնական ձևով ստեղծվում են ջերմագույգեր, որոնց էլեկտրոդներն են մշակվող դետալի նյութը և գործիքի կտրող մասի նյութը:



Նկ. 2.17. Բնական ձևով առաջացած ջերմագույգի կտրման ջերմաստիճանի չափման սխեման

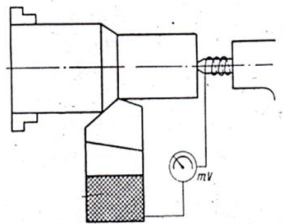
Եթե մշակվող դետալը և գործիքը մտցնենք փակ էլեկտրական շղթայի մեջ, ապա ջերմաէլեմենտում առաջացող ջերմաէլեկտրական ուժի մեծությունը համեմատական կլինի առաջացած ջերմագույգի սահող «գողի» ջերմաստիճանին:

Նկ. 2.17-ում 1 մշակվող դետալը մեկուսացված է 3 կապիչից 5 էրոնիտային միջադիրով: 2 կտրիչը մեկուսացված է կտրիչակալից 5 էրոնիտային միջադիրներով: Դետալը 10 պղնձե լարով միացված է 6 ճկուն լիսեռին, որը տեղակայված է հաստոցի 4 իլի մեջ: Ճկուն լիսեռի 7 ծայրափողը մտցված է սնդիկով լցված 8 տաշտի մեջ: 9

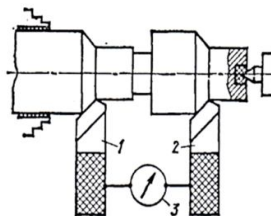
միլիվոլտմետրը իր մեկ սեղմակով միացված է կտրիչի ճակատային մասին, իսկ երկրորդ սեղմակով՝ սնդիկային հոսանքահանին: Հաստոցի առանձին դետալների մեջ պարազիտային ջերմազույգերի առաջացումից և կտրման ջերմաստիճանի չափումների վրա դրանց հնարավոր ազդեցությունից խուսափելու նպատակով, մշակվող դետալը մեկուսացվում է հաստոցից:

Գործնականում, չափման այս եղանակը նշանակալի չափով պարզեցվել է: Բացառվել են մշակվող դետալի մեկուսացումը հաստոցի կապիչից, հետին կենտրոնից և սնդիկային հոսանքահանի օգտագործումը, որոնք կիրառվել էին հաստոցի դետալների հետ հպման տեղամասերում առաջացող լրացուցիչ պարազիտային ջերմազույգերի առաջացման և հիմնական ջերմազույգի վրա դրանց ազդեցությունները բացառելու համար: Իրականում, պարազիտային ջերմազույգերի ազդեցություններն աննշան են, որովհետև նրանց տաքացումը, համեմատած կտրիչի տաքացման հետ, շատ փոքր է: Ասվածը հնարավորություն է տալիս կտրման միջին ջերմաստիճանի չափման համար օգտվել պարզեցված սխեմայից (նկ. 2.18): Պետք է ասել, որ այս եղանակով կտրման ջերմաստիճանի չափումն ունի մեկ կարևոր թերություն: Այն է՝ մշակվող նյութի և կտրիչանյութի յուրաքանչյուր փոփոխության դեպքում ջերմազույգի նոր աստիճանավորման (չափորոշման) անհրաժեշտություն է առաջանում:

Վերոնշյալ թերությունից զերծ է ջերմաստիճանի չափման **երկկտրիչային եղանակը** (նկ. 2.19):



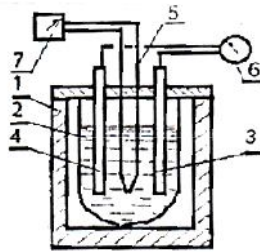
Նկ. 2.18. Բնական ջերմազույգի պարզեցված սխեմա



Նկ. 2.19. Կտրման ջերմաստիճանի չափման երկկտրիչային եղանակ

Այս եղանակի դեպքում շրջատաշումն իրականացվում է նույն չափերով և երկրաչափական պարամետրերով երկու կտրիչի օգնությամբ (1 և 2), որոնք ամրանալորված են կարծր համաձուլվածքով և արագահատ պողպատով: Գործիքանյութերի ջերմաէլեկտրական հատկությունների տարբերության հետևանքով առաջացած էլշու-ն կախված չէ մշակվող նախապատրաստվածքի նյութի տեսակից, որը ծառայում է միայն որպես էլեկտրական հաղորդիչ: Բնական ջերմագույգով կտրման ջերմաստիճանի չափման երկկտրիչային եղանակի դեպքում որպես էլեկտրոդներ են ծառայում կտրիչանյութերը: Առաջացած էլշու-ի մեծությունը կախված է կտրիչանյութերի հատկություններից և կտրիչների հպման մակերևույթների տաքացման ջերմաստիճանից: Ջերմագույգի աստիճանավորումը կատարվում է միայն մեկ անգամ: Երկկտրիչային եղանակը չափման ճշտությամբ զիջում է միակտրիչային եղանակին, որովհետև ենթադրվում է, որ կտրիչների հպման մակերևույթներն ունեն տաքացման միևնույն ջերմաստիճանը: Բայց կտրիչների առջևի և հետին մակերևույթների շփման տարբեր գործակիցների և կտրիչանյութերի տարբեր ջերմահաղորդականությունների պատճառով, կտրիչների հպման մակերևույթների ջերմաստիճանները նույնը լինել չեն կարող:

Աստիճանավորում: Որպեսզի միլիվոլտմետրի ցուցմունքները վերածվեն Ցելսիուսի աստիճանների, բնական ջերմագույգը պետք է նախապես ենթարկվի հատուկ աստիճանավորման: Աստիճանավորումը (նկ. 2.20) իրագործվում է հալված մետաղում:



Նկ. 2.20. Աստիճանավորման սխեման

1 էլեկտրավառարանի մեջ տեղադրվում է հրակայուն բաժակը, որի մեջ լցված է 2 դյուրահալ մետաղը հալված վիճակում (անագ, կապարնայն): 3 մշակվող նյութից և 4 գործիքանյութից պատրաստված ձողերն իջեցվում են հալված մետաղի մեջ՝ միննույն խորության վրա, և դրանց ազատ ծայրերը միացվում են նույն 6 միլիվոլտմետրին, որն օգտագործվել էր կտրման ջերմաստիճանի չափման փորձերի ժամանակ: Ձողերի միջև տեղադրվում է 5 վերահսկման ստանդարտ ջերմազույգը, որը միացված է 7 գալվանոմետրին: Գալվանոմետրի սանդղակը աստիճանավորված է Ցելսիուսի ջերմաստիճանների աստիճաններով: Համեմատելով 6 միլիվոլտմետրի և 7 գալվանոմետրի ցուցմունքները՝ կառուցվում է աստիճանավորման գրաֆիկը:

2.9. ԿՏՐՄԱՆ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԶԱՓՈԻՄԸ ԸՆԴՀԱՏ ԿՏՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ընդհատ կտրման (ռանդում, թործում, ընդհատ շրջատաշում, ֆրեզում և այլն) ժամանակ ջերմային երևույթների ուսումնասիրությունը վերաբերում է ոչ հաստատուն այն ջերմային գործընթացներին, որոնք ընթանում են գործիքի կտրող սեպում՝ նրա աշխատանքային և պարապ ընթացքների, ինչպես նաև մշակվող նախապատրաստվածքում՝ գործիքի ներխրման և կտրման գոտուց դուրս գալու ժամանակ:

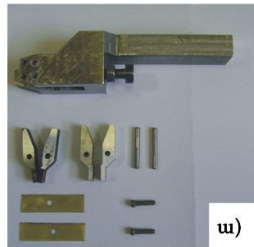
Համեմատելով կտրման միջին ջերմաստիճանի չափման եղանակները և դրանց պիտանիությունը ընդհատ կտրման ժամանակ կիրռման համար, կարելի է ասել, որ բնական ջերմազույգի եղանակը հնարավոր է օգտագործել միայն տաշեղանիանման գործընթացում ջերմաստիճանի որոշման համար, իսկ արհեստական ջերմազույգի եղանակը, որը գործիքի ջերմային դաշտի ուսումնասիրման հիմնական եղանակն է հաստատուն ջերմափոխանակման պայմաններում, նպատակահարմար չէ օգտագործել ջերմափոխանցման ոչ հաստատուն գործընթացում:

Ընդհատ կտրման ժամանակ կտրող սեպի ցիկլային տաքացման և առեցման պայմաններում գործիքի հպման հարթակի միջին ջերմաստիճանի որոշումը կարելի է իրագործել կազմովի կտրիչի օգնությամբ, որն ունի չափման բավարար ճշտություն և համեմատաբար բարձր կոշտություն [25]:

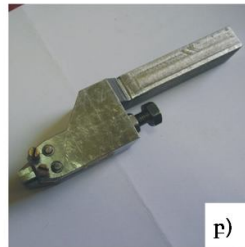
Նկ. 2.21-ում ցույց է տրված կազմովի կտրիչը քանդած (ա) և հավաքված վիճակում (բ): Կազմովի կտրիչի առավելություններն են.

1. Հպման տեղամասի երկարության և անհրաժեշտ ճիգի կարգավորման հնարավորությունը:

2. Կառուցվածքի մեծ կոշտությունը, շնորհիվ բազավորման որոշակիության, որով ապահովվում է կիսակտրիչների միմյանց նկատմամբ և տարածության մեջ անփոփոխ դիրք, ինչպես դրանց սրման, այնպես էլ կտրման և ջերմաստիճանի չափման ժամանակ:



ա)



բ)

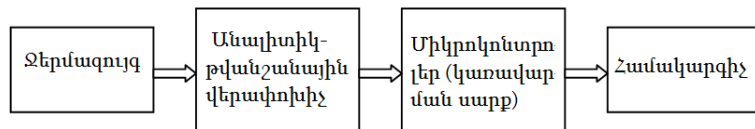
Նկ. 2.21. Կազմովի կտրիչ ընդհատ շրջատաշման ժամանակ ջերմաստիճանի չափման համար

Կազմովի կտրիչի իրանն ունի պոչամաս՝ հաստոցի կտրիչակալում ամրացման համար, և գլխիկ, որի մեջ հավաքված են հիմնական տարրերը: Գլխիկում տեղադրված են կիսակտրիչները այնպես, որ միայն գագաթի մասում ունեն հպման տեղամաս: Կիսակտրիչները հանդես են գալիս որպես էլեկտրոդներ, դրանց հպման տեղամասը՝ որպես ջերմագույգի «գոդ»: Կախված կտրման արագությունից, որպես կտրիչների գործիքանյութեր կարող են օգտագործվել լեգիրված գործիքային պողպատների, արագահատ պողպատների և կարծր համաձուլվածքների տարբեր գույքորոշություններ: Կիսակտրիչների նյութերի տարբեր

ջերմաէլեկտրական հատկությունների շնորհիվ առաջացող էլշուն գրանցվում է միլիվոլտմետրի կողմից:

Ազատ կտրման սխեմայով շրջատաշման շնորհիվ ապահովվում է կիսակտրիչների աշխատանքի լրիվ նույնականացում:

Ընդհատ կտրման տարբեր փուլերի և ժամանակների ընթացքում արագ փոփոխվող ջերմաստիճանի մեծության ճշգրիտ և հավաստի գրանցման համար նպատակահարմար է կիրառել չափման հատուկ համակարգ (նկ. 2.22, 2.23):



Նկ. 2.22. Ջերմաստիճանի չափման բլոկ-սխեման



ա)



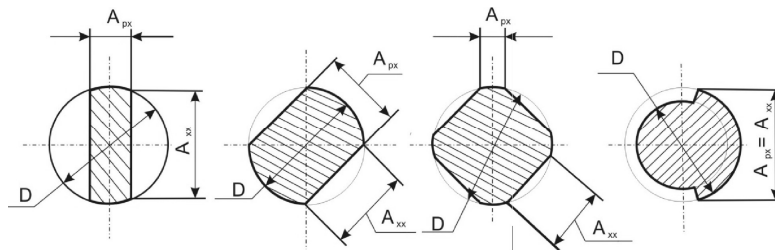
բ)

Նկ. 2.23. Ջերմագույգից ստացվող ազդանշանների մշակման, գրանցման և չափման ապարատուրան

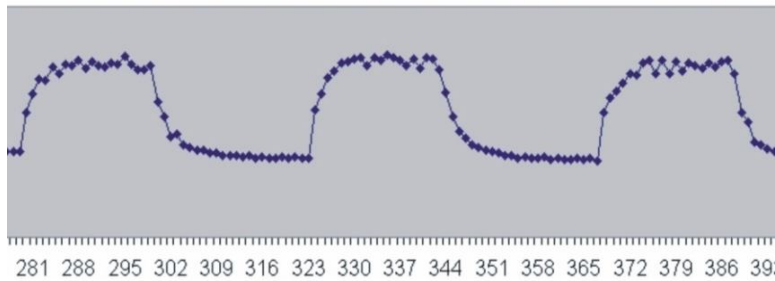
«Կազմովի կտրիչ» արհեստական ջերմագույգը և կիրառված չափման համակարգը հնարավորություն են տալիս ընդհատ կտրման գործընթացում սևեռել և չափել գործիքի հպատեղի միջին ջերմաստիճանի փոփոխությունը 0,0075 վրկ-ի ընթացքում [29]:

Նկ. 2.24-ում ցույց են տրված մշակվող նախապատրաստվածքների ձևերը, որոնք հնարավորություն են տալիս ջերմաստիճանի չափման ժամանակ ապահովել աշխատանքային և պարապ ընթացքների տարբեր տևողություններ և $t_{աշխ}/t_{պարապ}$ հարաբերություններ, իսկ նկ. 2.25-ում կազմովի կտրիչի և վերոնշյալ չափման

հատուկ համակարգի կիրառմամբ գրանցած ջերմաստիճանի փոփոխման մեկ հատված:



Նկ. 2.24. Հնդհատ կտրման գործընթացում ջերմաստիճանի չափման համար մշակվող նախապատրաստվածքների ձևերը



Նկ. 2.25. Կազմովի կտրիչով չափման հատուկ համակարգով գրանցած ջերմաստիճանի փոփոխման մեկ հատված

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. **Адлер Ю.П. и др.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: «Наука», 1971. - 283 с.
2. **Андреев Г.С.** Исследование работоспособности режущей части инструмента при прерывистом резании: Автореферат д.т.н. – М., 1971. - 36 с.
3. **Батуев Г.С., Голубков Ю.В. и др.** Инженерные методы исследования ударных процессов. – М.: Машиностроение, 1977. – 240с.
4. **Бидерман В.Л.** Теория удара. - М.: Машиностроение, 1952. – 76 с.
5. **Бобров В.Ф.** Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
6. **Вульф А. М.** резание металлов. – Л.: Машгиз, 1973. – 496 с.
7. **Грановский Г.И., Грановский В.Г.** Резание металлов. – М.: «Высшая школа». 1985. – 304 с.
8. **Железнов Г.С., Схиртладзе А.Г.** Процессы механической и физико-химической обработки материалов. - Старый Оскол, ТНТ, 2015. – 455 с.
9. **Касьян М.В., Симонян М.М., Наджарян М.Т.** Оценка математической модели импульсной силы при прерывистом резании // Известия АН Арм.ССР. – Серия ТН. – Том 38. – 1985. №1. - С. 42-46.
10. **Кильчевский Н.А.** Теория соударения твердых тел. Киев: Наукова думка. 1969. – 246 с.
11. **Кривоухов В.А., Петруха П.Г. и др.** Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. - М.: Машиностроение, 1974. – 615 с.
12. **Лоладзе Т.Н.** Износ режущего инструмента. - М.: Машгиз, 1958. – 355 с.
13. **Пановко Я.Г.** Введение в теорию механического удара. - М.: Наука, 1977. – 224 с.
14. **Подураев В.Н.** Резание труднообрабатываемых материалов. - М.: Машгиз, 1974. – 495 с.

15. Полетика М.Ф. Приборы для измерения сил резания и крутящих моментов. – М.: Машгиз, 1963. – 107 с.

16. Полетика М.Ф. Теория резания. Механика процесса резания. Ч. 1. – Томск: ТПУ, 2001. – 202 с.

17. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. – М.: Машгиз, Т. 1. 1956, – 884 с.

18. Хикс Ч.Р. Основные принципы планирования эксперимента. – М.: «Мир», 1967. – 406 с.

19. Ящерицын П.И. и др. Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск: Высшая школа. 1975. - 520с.

20. Ящерицын П.И. и др. Теория резания. Минск: Новое знание. 2005. - 512 с.

21. Симонян М.М. Исследование динамики силового и теплового воздействий на твердосплавный инструмент при прерывистом резании // Вестник машиностроения. – М. 2004. №12. – С. 54-56.

22. Симонян М.М. О влиянии некоторых факторов на стойкость твердосплавных инструментов при прерывистом резании // Вестник машиностроения. – М. 2004. №11. – С. 44-46.

23. Симонян М.М. О некоторых явлениях переходного периода процесса прерывистого резания при врезании инструмента в заготовку // Вестник машиностроения. – М. 2005. №10. – С. 50-52.

24. Симонян М.М., Навоян М.О., Кочарян К.С. Влияние ударных воздействий и адгезионных явлений на стойкость твердосплавного инструмента при прерывистом резании // Вестник машиностроения. – М. 2006. №9. – С. 67-69.

25. Սիմոնյան Ս.Ս., Քոչարյան Կ.Ս. Կազմովի կտրիչ: Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր. – Երևան, 2009. - №3 (59). – էջ 96 (ՀՀ արտոնագիր №2253 А):

26. Սիմոնյան Ս.Ս., Քոչարյան Կ.Ս. Բազմակտրիչ ունդման կտրիչակալ: Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր. – Երևան, 2009. - №3 (59). – էջ 85 (ՀՀ արտոնագիր №2219 А):

27.Սիմոնյան Մ.Մ., Քոչարյան Կ.Ս. Գործիքի ներխուժման գործընթացում կտրման արագության փոփոխության որոշման ճշտությունը բարձրացնելու եղանակ: Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր. – Երևան, 2009. - №3 (59). – էջ 85 (ՀՀ արտոնագիր №2220 А):

28.Սիմոնյան Մ.Մ., Քոչարյան Կ.Ս., Սիմոնյան Մ.Մ., Ոսկանյան Դ.Ս. Ընդհատ մշակմամբ կտրման ուժի որոշման եղանակ: Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր. – Երևան, 2009. - №9 (65). – էջ 6 (ՀՀ արտոնագիր №2316 А):

29.Симонян М.М., Балаян В.А., Казарян Н.Э.О методике экспериментального исследования температурных, адгезионных и ударных явлений при прерывистом резании // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Scientific journal; №11–12, 2014 (November-December). «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education Gmb H. Viena.- 2014. – С. 150. – 43-48 с.

30.Սիմոնյան Մ.Մ., Ղազարյան Ն.Է. Փորձական տվյալների ստացումը և մշակումը վիճակագրական եղանակներով: Ուսումնական ձեռնարկ: Հայաստանի Պետական Ճարտարագիտական Համալսարան: - Երևան; «Ճարտարագետ»; 2003: - 159 էջ:

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ.....	3
-------------------	---

ԳԼՈՒԽ 1. ԿՏՐՄԱՆ ՈՒԺԵՐ

1.1. Գործիքի աշխատանքային մակերևույթի վրա ազդող ուժերը.....	5
1.2. Կտրման ուժերի տեսական հետազոտությունը.....	8
1.3. Կտրման ուժերը շրջատաշման ժամանակ.....	12
1.4. Կտրման ռեժիմի ազդեցությունը կտրման ուժերի բաղադրիչների վրա.....	15
1.5. Մշակվող նյութի ազդեցությունը կտրման ուժերի բաղադրիչների վրա.....	19
1.6. Կտրիչի երկրաչափության ազդեցությունը կտրման ուժերի բաղադրիչների վրա.....	20
1.7. Հործիքանյութի և կտրիչի մաշման ազդեցությունը կտրման ուժերի բաղադրիչների վրա.....	27
1.8. Քսուքահովացնող հեղուկների (Ք.Հ.Հ.) ազդեցությունը կտրման ուժերի բաղադրիչների վրա.....	28
1.9. Շրջատաշման ժամանակ կտրման ուժի բաղադրիչների հաշվարկման բանաձևերը.....	31
1.10. Կտրման ուժերի որոշման փորձնական եղանակները.....	36
1.11. Ընդհատ կտրման գործընթացում կտրող սեպը մշակվող նյութի մեջ ներխուժման պահին առաջացող դինամիկ ուժի որոշման փորձնական եղանակները.....	44
1.12. Փորձնական արդյունքների մաթեմատիկական մշակման եղանակները.....	51

ԳԼՈՒԽ 2. ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՑԹՆԵՐԸ ԿՏՐՄԱՆ

ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

2.1. Զերմության առաջացման աղբյուրները և ջերմության բաշխումը տաշեղի, գործիքի և դետալի միջև.....	59
2.2. Կտրման ջերմաստիճան.....	66

2.3.	Կտրման օպտիմալ ջերմաստիճան.....	71
2.4.	Կտրող գործիքի հպման մակերևույթների վրա ջերմաստիճանի որոշումը.....	74
2.5.	Ջերմաստիճանային դաշտ.....	75
2.6.	Ջերմահաղորդականության դիֆերենցիալ հավասարումը.....	77
2.7.	Ջերմահաղորդականության դիֆերենցիալ հավասարման հիմնարար լուծումը.....	80
2.8.	Ջերմային երևույթների ուսումնասիրման փորձնական եղանակները.....	84
2.9.	Կտրման ջերմաստիճանի չափումը ընդհատ կտրման ժամանակ.....	92
	ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ.....	96

Միշա Մամիկոնի Միմոնյան

ՈՒԺԵՐԸ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԸ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ
ԿՏՐՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑՈՒՄ

Ուսումնական ձեռնարկ

Миша Мамиконович Симонян

СИЛЫ И ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ
РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Учебное пособие