

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ
ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ ՆԱԻՐԻ ՀՐԱՅՐԻ

ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ԳՐՏՆԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՅԻ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ ԳԵՐՉԱՅՆԱՅԻՆ
ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՍԲ

Ե.02.03 – «Մեքենաշինական արտադրության տեխնոլոգիաներ և
սարքավորումներ» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման
ատենախոսություն

ՂԵԿԱՎԱՐ՝

տ.գ.դ., պրոֆ. Բ.Ս.ԲԱԼԱՍՍԱՆՅԱՆ

ԵՐԵՎԱՆ 2016

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՆԱԽԱԲԱՆ.....	4
ԳԼՈՒԽ 1. ՄԵՔԵՆԱՄԱՍԵՐԻ ԲԱՆՎՈՐԱԿԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ԳՐՏՆԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ.....	11
1.1. Մեքենամասերի բանվորական մակերևույթների ավանդական գրտնակման գործընթացների իրականացման առանձնահատկությունները.....	11
1.1.1. Գրտնակման գործընթացում ուժի ազդեցությամբ մակերևույթային շերտի որակական ցուցանիշների վրա.....	12
1.1.2. Գրտնակման գործընթացում մատուցման ազդեցությամբ մակերևույթային շերտի որակական ցուցանիշների վրա.....	13
1.1.3. Գրտնակման գործընթացում արագության և անցումների թվի ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա	14
1.2. Ջերմային երևույթները և գրտնակիչի կայունությունը գրտնակման ժամանակ....	15
1.3. Մեքենամասերի բանվորական մակերևույթների գերձայնային գրտնակման գործընթացների իրականացման առանձնահատկությունները.....	16
1.3.1. Գրտնակման գործընթացում ուժի ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա ԳՁՏ կիրառման դեպքում.....	18
1.3.2. Գրտնակման գործընթացում մատուցման ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա ԳՁՏ կիրառման դեպքում.....	19
1.3.3. Գրտնակման գործընթացում արագության ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա ԳՁՏ կիրառման դեպքում.....	21
1.3.4. Տատանման ամպլիտուդի և անցումների թվի ազդեցությունը ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում	21
1.4. Ջերմային երևույթները և գրտնակիչի կայունությունը ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման ժամանակ	22
1.5. Տեխնոլոգիական միջավայրի ազդեցությունը գերձայնային գրտնակման գործընթացում	23
1.6. Եզրակացություններ	24
ԳԼՈՒԽ 2. ՏԱՐԲԵՐ ԱՌԱՆՑՔՆԵՐՈՎ ԳՁՏ ԳՐՏՆԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՈւՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ	26
2.1. Շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման գործընթաց.....	26
2.2. Շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի կինեմատիկայի տեսական հետազոտություն	27
2.3. Համազոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ գրտնակման գործընթաց.....	34
2.3.1. Տարածական ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման գործընթացի կինեմատիկայի տեսական հետազոտություն.....	36
2.3.2. Մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների հաշվարկը.....	40
2.3.3. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների հաշվարկման ծրագրի մշակում LabVIEW-ի միջավայրում.....	44
2.4. ԳՁՏ գրտնակման կինեմատիկական պարամետրերի ազդեցությունը գրտնակման ուժի վրա	47
2.5. Եզրակացություններ	51

ԳԼՈՒԽ 3. ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՄԵԹՈԴԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ.....	53
3.1. Փորձարարական ԳՁՏ գրտնական փոխակերպիչներ.....	53
3.2. Գրտնական ստատիկ ուժի ապահովման մեթոդաբանություն.....	60
3.3. Ուժի համագործի ուղղությամբ գերձայնային տատանումների ապահովման մեթոդաբանություն.....	61
3.4. Փորձարարական սարքավորումներ.....	66
3.5. Փորձանմուշների նյութերի ընտրություն.....	68
3.6. Հետազոտության հաստատուն և փոփոխական պայմանները.....	69
3.7. Փորձարարական չափիչ սարքավորումներ.....	70
3.7.1. Տատանման ամպլիտուդի չափման մեթոդաբանություն.....	70
3.7.2. Մակերևութի խորդուբորդությունների չափման մեթոդաբանություն.....	71
3.7.3. Մակերևութային շերտի միկրոկարծրության չափման մեթոդաբանություն.....	73
3.8. Ինդենտորի մաշված սֆերիկ մակերևութի վերականգնման մեթոդաբանություն.....	74
3.9. Եզրակացություններ.....	76
ԳԼՈՒԽ 4. ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ.....	77
4.1. Փորձերի պլանավորումը և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքների մաթեմատիկական մշակումը.....	77
4.2. Հինգ-գործոնային տեխնոլոգիական գործընթացների մոդելավորման ծրագիր LabVIEW միջավայրում.....	82
4.3. Փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները.....	86
4.4. Տարածական ԳՁՏ գրտնական գործընթացում ելակետային խորդուբորդությունների (Ra _{isx}) ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա.....	90
4.5. Տարածական ԳՁՏ գրտնական գործընթացում ուժի (Pst) ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա.....	94
4.6. Տարածական ԳՁՏ գրտնական գործընթացում տատանման ամպլիտուդի (A) ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա.....	96
4.7. Տարածական ԳՁՏ գրտնական գործընթացում մատուցման (S) ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա.....	99
4.8. Տարածական ԳՁՏ գրտնական գործընթացում անցումների թվի (i) ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա.....	101
4.9. Եզրակացություններ.....	103
ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ.....	105
ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ.....	107

ՆԱԽԱԲԱՆ

Աշխատանքի հրատապությունը և արդիականությունը:

Տեխնիկայի զարգացմանը զուգընթաց մեքենաների աշխատանքի պայմանները անընդհատ դժվարանում են և խստացվում են մեքենամասերի շահագործական ցուցանիշներին ներկայացվող պահանջները: Այդ տեսանկյունից մակերևութային շերտի որակը այն կարևորագույն գործոններից մեկն է, որն ապահովում է մեքենամասերի բարձր շահագործական բնութագրեր: Մյուս կողմից, տեխնիկայի զարգացման միտումները ենթադրում են պահանջվող հատկություններով մակերևութային շերտերի ձևավորման այնպիսի տեխնոլոգիական լուծումներ, հաճախ այլընտրանքային, որոնք ապահովում են առավել բարձր շահագործական ցուցանիշներ: Բնականաբար, պահանջվող հատկություններով մակերևութային շերտերի ձևավորումը տնտեսապես առավել նպատակահարմար է, քան նյութի ամբողջ ծավալի ձևափոխումը կամ նյութի փոփոխությունը: Մեքենամասի մակերևութային շերտի անհրաժեշտ որակի ապահովման համար կիրառվում են վերջնամշակման տարբեր եղանակներ, այդ թվում մշակում հղկմամբ, ջերմային մշակման եղանակներ, լեգիրացում կամ պատում մաշակայուն շերտով, ինչպես նաև մակերևութային շերտի ամրացում՝ մակերևութային պլաստիկ դեֆորմացմամբ (ՄՊԴ):

ՄՊԴ ավանդական գործընթացների հետազոտմանը նախկին ԽՍՀՄ-ում, անցյալ հարյուրամյակի երկրորդ կեսում նվիրված է մեծ քանակով գիտական հետազոտություններ: Դրանց մեջ են Բ.Մ. Ասկինազիի, Ա. Պ. Բաբիչևի, Մ. Ա. Բալտերի, Յա. Ի. Բարացի, Գ. Պ. Բաշկովի, Վ. Յու. Բլումենշտայնի, Ն. Մ. Բաբրովսկու, Բ. Ա. Կալեդինի, Է. Գ. Կոնովալովի, Վ. Ս. Կորսակովի, Ի. Վ. Կուրբևիչի, Վ. Ա. Լեբեդևի, Լ. Ի. Մարկուսի, Լ. Գ. Օդինցովի, Դ. Դ. Պապչևի, Ա. Ն. Ռեզնիկովի, Վ. Մ. Սմելյանսկիի, Ա. Մ. Սուլիմաի, Ա. Գ. Սուսլովի, Լ. Ա. Խվարաստուխինի, Գ. Ի. Չեկինի, Պ. Ա. Չեպայի, Պ. Ս. Չխտասերդովի, Լ. Մ. Շկոլնիկի, Յու. Գ. Շնայդերի, Վ. Կ. Յացենկոի և ուրիշների աշխատանքները: ՄՊԴ մեթոդներից առավել պրոգրեսիվ են գերձայնային տատանումների կիրառմամբ (ԳՁՏ) գրտնակման մեթոդները, մշակման տեղամաս հաղորդելով շառավղային գերձայնային տատանումներ:

ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ԳՁՏ կիրառման տեսության կայացման և զարգացման հիմքում ընկած են Ա. Ի. Մարկովի, Վ. Ֆ. Կազանցևի, Վ. Վ. Կուրբովիչի,

Լ.Դ. Ռոզենբերգի, Վ.Պ. Սեվերդենկոյի, Ա.Վ. Ստեպանենկոյի, Օ.Վ. Տաբատինովի, Ա.Ս. Միցկեվիչի, Ի.Ի. Մուխանովի, Խ.Մ. Ռախիմյանովի, Ի.Դ. Ուստինովի, Յու.Վ. Խոլոպովի և ուրիշների աշխատանքները:

ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ԳՁՏ առաջին անգամ առաջարկվել և կիրառվել են 1965թ.-ին Յու.Վ. Խոլոպովի և Ա.Ս. Միցկեվիչի [47] կողմից և սկզբում օգտագործվել է մեքենամասերի գերձայնային փայլեցման համար, որը մեքենաշինության մեջ մեծ հետաքրքրություն է առաջացրել: 1966թ.-ին Ի.Ի. Մուխանովը [48] ցույց տվեց, որ գերձայնային հաճախականությամբ շառավղային ուղղությամբ տատանվող ինդենտորի ազդեցության պայմաններում մշակման գոտում պարբերաբար առաջանում են սեղման և սահքի դեֆորմացիաներ, որի հետևանքով նկատվում է խորդուբորդությունների նվազում, միկրոկարծրության և սեղմող մնացորդային լարումների աճ: Այս գիտական աշխատանքները համարվում են ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ԳՁՏ կիրառման տեսական և գործնական զարգացման հիմքը: [36,47,48,71,73-77,103-106,124] հետազոտությունների հիման վրա հաստատված է որ, ՄՊԴ գրտնակման մեթոդը շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ ունի ավանդական գրտնակման առավելությունները. ջերմամշակված և սովորական պողպատի, թուջի, գունավոր մետաղների համաձուլվածքներից, բարձր ամրությամբ, կոռոզիակայուն և չժանգոտվող պողպատներից մեքենամասի մշակվող մակերևույթի ելակետային խորդուբորդությունները նվազում են մինչև Ra 0,2, մակերևութային շերտի միկրոկարծրությունը կախված մշակվող նյութից աճում է 20-270%, հպումային դիմացկունության սահմանը աճում է 15-25%, որի հետևանքով բարելավվում են շահագործական ցուցանիշները, մեծանում է մաշակայունությունը և հնարավորություն է ստեղծվում մշակված դետալները օգտագործել նաև սննդային արդյունաբերության մեջ, քանի որ մակերևութային շերտում բացակայում են աբրազիվային հատիկներ: Յուրաքանչյուր հետազոտություն, որն ուղղված է գրտնակման արդյունավետության բարձրացմանը և մեքենամասերի որակական ու շահագործական ցուցանիշների լավացմանը արդիական խնդիր է:

Խնդրի արդի վիճակը:

Վերջին տասնամյակում, հատկապես ՌԴ-ում, ինտենսիվ շարունակվում է ՄՊԴ գրտնակման մեթոդների ուսումնասիրությունները՝ շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ:

Հայտնի են Յու.Մ. Բորովի, Ա.Վ. Գորբենկո, Կիմ Չանգ Սիկայի, Ա.Ս. Սելիվանովի, Յու.Ս.Սեմյոնովի, Տ.Յու. Ստեպանովի, Բ.Մ. Սմելյանսկիի, Ս.Վ. Ստեպոշինա, Զ.Վ. Ստեպչևի, Վ.Վ. Խառչենկո [27,35,36,37,43,44,49,71,86,91], ինչպես նաև Գ.Ա.Օսիպենկովի և Վ.Ֆ. Պեգաշկինի [57,58] աշխատանքները։ Վերջին հեղինակների աշխատանքները տարբերվում են մնացածից նրանով, որ ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ինդենտորին հաղորդում են պտտական ԳՁՏ։

Մեքենամասերի որակական ցուցանիշները, որոնք ապահովվում են ԳՁՏ գրտնակման հայտնի մեթոդներով, կախված են ՄՊԴ գործընթացում գերձայնային տատանումների վերադրման սխեմայից, սակայն ԳՁՏ գրտնակման գործընթացներում կիրառվում են միայն շառավղային [12,13,37,43,48,103-106] կամ պտտական տատանումներ [57,58]։ Բացակայում են ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի հետազոտությունների արդյունքներ՝ ՄՊԴ գործընթացներում տատանումների վերադրման առանցքային, տանգենցյալ կամ շառավղային գերձայնային տատանումների համամասնությունների արդյունքներ։

Առանցքային գերձայնային տատանումներով գրտնակման դեպքում, ինդենտորի աշխատանքային մասի որոշ հատվածներ տատանման ընթացում ազատվում են հպումից, սակայն ինդենտորի գագաթը անընդհատ գտնվում է հպման մեջ և կատարում է առանցքի ուղղությամբ լրացուցիչ ցիկլիկ տեղափոխություններ, որի հետևանքով ջերմաստիճանը կտրուկ բարձրանում է ինչը բացասական երևույթ է ամրացման տեսանկյունից և ինդենտորը արագ մաշվում է։

Տանգենցյալ գերձայնային տատանումներով գրտնակման դեպքում, ինդենտորի աշխատանքային մասի որոշ հատվածներ տատանման ընթացում ազատվում է հպումից, սակայն ինդենտորի գագաթը անընդհատ գտնվում է հպման մեջ։ Տանգենցյալ տատանումներով գրտնակման գործընթացը ավելի արդյունավետ է, երբ գերձայնային տատանումների արագությունը գերազանցում է գրտնակման արագությանը։

Այսպիսով, ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ԳՁՏ կիրառման նոր սխեմայի մշակումը, որի կիրառման դեպքում ինդենտորը պարբերաբար ամբողջությամբ դուրս կգա մշակվող դետալի հետ հպումից, ինչը կբերի ինդենտորի մաշակայունության բարձրացման, արդիական խնդիր է։

Հետազոտության նպատակը և խնդիրները:

Հետազոտության նպատակն է գերձայնային գրտնակման գործընթացի արդյունավետության բարձրացումը տատանումների հաղորդման նոր սխեմայի կիրառմամբ:

Այդ նպատակին հասնելու համար դրված են հետևյալ խնդիրները

- Ուսումնասիրել գրտնակման գործընթացում գերձայնային տատանումների կիրառման հայտնի սխեմաները, գտնել դրանց արդյունավետության բարձրացման հնարավոր ուղիները:
- Մշակել գրտնակման գործընթացում գերձայնային տատանումների համադրման նոր եղանակ և տեսականորեն հիմնավորել գործընթացի արդյունավետության բարձրացման հնարավորությունները, հետազոտել իրականացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները և հնարավորությունները:
- Հետազոտել ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի իրականացման ակուստիկական համակարգերի՝ տրանսֆորմատորի և խտարարի միացման հայտնի եղանակները, հայտնաբերել դրանց թերությունները և մշակել տրանսֆորմատորի և խտարարի միացման նոր եղանակ:
- Մշակել ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի փորձարարական հետազոտությունների իրականացման ընդհանուր մեթոդաբանություն: Ստեղծել փորձարարական հետազոտությունների արդյունքների մշակման ծրագիր, որոշել ընտրված ելքային պարամետրերի մաթեմատիկական մոդելները՝ կախված մուտքային պարամետրերից:
- Իրականացնել ստացված արդյունքների վերլուծություն, մշակել բարձր արդյունավետություն ապահովող տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի տեխնոլոգիական երաշխավորանքներ և ներդրման առաջարկներ:

Աշխատանքի գիտական նորույթը:

- Մշակվել և առաջին անգամ հետազոտվել են մեքենամասերի բանվորական մակերևույթների պլաստիկ դեֆորմացման նոր եղանակ՝ գրտնակիչին համագոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ-ի համադրմամբ (ՀՀ թիվ 3006 Ա արտոնագիր) և գրտնակիչների ակուստիկական համակարգերի՝ մագնիսակծկման տրանսֆորմատորի և ԳՁՏ-ի խտարարի միացման նոր

եղանակներ (ՀՀ թիվ 3004 և ՀՀ թիվ 3005 A արտոնագրեր):

- Տեսականորեն հիմնավորված է, որ շառավղային ԳՁՏ-ի կիրառմամբ մեքենամասերի բանվորական մակերևույթների պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացում XOZ հարթության մեջ առաջանում են լայնական և ուժեղացված ամպլիտուդով «թվացող» ԳՁՏ, որոնց ամպլիտուդը կախված է ինդենտորի սֆերիկ մասի շառավղից, ներխւման չափից և շառավղային ԳՁՏ-ի ամպլիտուդից: Առաջարկվել է շառավղային տատանումները լայնականի փոխակերպման գործակցի որոշման մաթեմատիկական արտահայտություն:

- Տեսականորեն հիմնավորված է, որ ԳՁՏ գրտնական որոշակի ռեժիմների պայմաններում, որոշակի ժամանակահատվածի ընթացքում, տեղի է ունենում ինդենտորի և մշակվող մակերևույթի միջև հպման ընդհատում:

Ապացուցվել է, որ համագոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ գրտնական մնացած բոլոր հավասար պայմանների դեպքում այդ ժամանակահատվածը 10...40% մեծ է շառավղային ԳՁՏ գրտնական համեմատ, իսկ աշխատանքային և պարապ ընթացքների տևողությունների հավասարության պայմանի դեպքում՝ հնարավորություն է ստեղծվում բարձրացնել գրտնական արագությունը մինչև 1,4 անգամ և նվազեցնել միջին ուժը մինչև 1,2...1,6 անգամ:

- Հաստատվել է ուժի համագորի ուղղությամբ խորդուբորդությունների մեծության կախվածությունը մշակման պայմաններից:

Մշակված է ԳՁՏ-ի կիրառմամբ մակերևույթների պլաստիկ դեֆորմացման գրտնական գործընթացի նկարագրման մաթեմատիկական նոր մոդել, որը հնարավորություն է տալիս նրա հայտնաբերումը հինգ փոփոխական գործոնների համար, այնպես, որ առաջին երեք պարամետրերը կրում են քառակուսային բնույթ՝ նրանց գծային փոխադեցությունների հաշվառմամբ, մյուս երկուսը՝ գծային:

- LabVIEW միջավայրում մշակվել են ծրագրեր ԳՁՏ-ով գրտնակված մակերևույթների խորդուբորդությունների, աշխատանքային և պարապ ընթացքների տևողությունների և գրտնական միջին ուժի հաշվարկման համար:

- Փորձարարական հետազոտություններով հաստատվել են մակերևութային

խորդուբորդությունների, միկրոկարծրության և ամրացված մակերևութային շերտի խորության ու աստիճանի մաթեմատիկական կախվածությունները փորձանմուշի ելակետային խորդուբորդություններից, գրտնակման ստատիկ ուժից, ԳՁՏ-ի ամպլիտուդից, մատուցումից և անցումների թվից:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը:

Համագոր ուժի ուղղությամբ ինդենտորի առանցքով ԳՁՏ-ի հաղորդմամբ գրտնակման գործընթացի կիրառումը թույլ է տալիս հպման ժամանակահատվածը փոքրացնել 10...40%-ով՝ շառավղային ԳՁՏ գրտնակման համեմատ, որը, աշխատանքային և պարապ ընթացքների տևողությունների հավասարության պայմանի դեպքում, թույլ է տալիս բարձրացնել գրտնակման արագությունը մինչև 1,4 անգամ ու նվազեցնել միջին ուժը մինչև 1,2...1,6 անգամ:

Մագնիսակծկման գերձայնային տրանսֆորմատորի և խտարարի միացման երկու նոր եղանակների կիրառումը հնարավորություն է տալիս պատրաստել գործնականում անսպառ զոյապաշարով գերձայնային փոխակերպիչներ:

Հետազոտությունների տեսական և փորձարարական արդյունքները, ինչպես նաև LabVIEW միջավայրում մշակված ծրագրերը, կարող են կիրառվել մագնիստրոսների և ճարտարագետ հետազոտողների ուսումնական ծրագրերում:

Ատենախոսության տեսական, տեղեկատվական և մեթոդական հիմքերը:

Ատենախոսության համար տեսական հիմք են ծառայել հայրենական և արտասահմանյան դասական և ժամանակակից աշխատությունները: Հետազոտության համար տեղեկատվական հիմք են հանդիսացել հրատարակված պաշտոնական տեղեկագրքերը, տեխնիկական պարբերականները, արտոնագրերը, պետական ստանդարտները և այլն: Հետազոտությունների ընթացքում կիրառվել են փորձարարական տվյալների չափման, գրանցման և հավաքման ժամանակակից համակարգչային սարքավորանքները, պետական ստանդարտներով սահմանված ֆիզիկական մեծությունների չափման, գրանցման և գնահատման մեթոդները, դասական և ժամանակակից համեմատական վերլուծական մեթոդները, համակարգչային կիրառական ծրագրերը, գրաֆիկան և այլն:

Հետազոտության արդյունքների փորձարկումները և հրապարակումները:

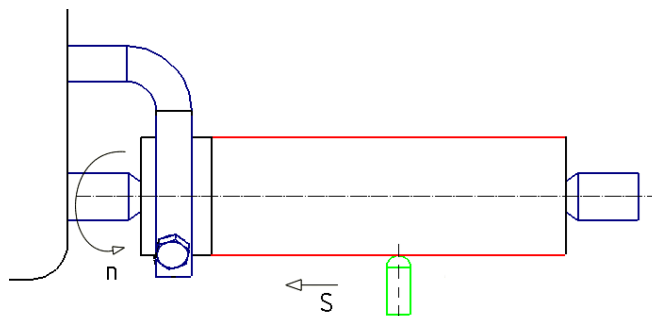
Ատենախոսության հիմնական դրույթները և երաշխավորանքները զեկուցված են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի 2014-2015թթ. տարեկան գիտաժողովներում, Մեքենաշինական ֆակուլտետի «Մեքենաշինության ավտոմատացում և համալիր մեքենայացում» ամբիոնի գիտական սեմինարներում: Հետազոտությունների արդյունքները հրատարակված են 8 հոդվածներում և գիտական աշխատանքներում, որից 3-ը ՀՀ արտոնագրեր են:

ԳԼՈՒԽ 1. ՄԵՔԵՆԱՄԱՍԵՐԻ ԲԱՆՎՈՐԱԿԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ԳՐՏՆԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

1.1. Մեքենամասերի բանվորական մակերևույթների ավանդական գրտնակման գործընթացների իրականացման առանձնահատկությունները

Մեքենաշինական ձեռնարկությունների համար հիմնական խնդիր է թողարկվող արտադրանքի որակի բարձրացումը և ինքնարժեքի նվազեցումը, իսկ դա ուղեկցվում է նոր տեխնոլոգիաների մշակմամբ և գոյություն ունեցողների կատարելագործմամբ: Մեքենամասերի մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշները, ինչպես նաև այդ շերտերի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները, որոնք ի վերջո որոշում են դետալի շահագործական ցուցանիշները՝ հուսալիություն, երկարակեցություն, միշտ եղել են հետազոտողների ուշադրության կենտրոնում [11,20-24,29,28,33,34,38,39,45,64,68]:

Հատային և սերիական արտադրության պայմաններում մեքենամասերի պատրաստման ժամանակ տեխնոլոգիական գործընթացների մեծ մասը բաժին է ընկնում սայրային գործիքներով սևատաշ և մաքրատաշ մշակմանը: Սակայն որոշ դեպքերում նշված եղանակը նպատակահարմար չէ կիրառել, իսկ որոշ դեպքերում էլ նույնիսկ անհնար է: Խոսք վերաբերում է դժվարամշակ նյութերից, տիտանային համաձուլվածքներից, գունավոր մետաղներից մեքենամասերի մշակմանը: Մեքենաների մասերի պատրաստման ժամանակ կիրառում են պլաստիկ մակերևութային դեֆորմացում՝ մշակում ճնշմամբ, որի ժամանակ պլաստիկորեն դեֆորմացվում է միայն նյութի մակերևութային շերտը:



Նկ.1.1. Գրտնակման սկզբունքային սխեմա

Մակերևութային շերտի պլաստիկ դեֆորմացման արդյունքում ելակետային անհարթությունները դեֆորմացվում են: Մակերևույթների գրտնակման մեթոդները հաճախ անփոխարինելի են, երբ մշակվում են գունավոր մետաղներ, պլաստիկ ցածրաձխածնային և որոշ բարձր լեգիրացված պողպատներ, տիտանային համաձուլվածքներ[2,10-12,21,23,43,45,49,50,62,70,71,101,107]:

1.1.1 Գրտնակման գործընթացում ուժի ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա

Մշակվող մակերևութի անհարթությունների վրա առավել զգալի ազդեցություն ունի գրտնակման ուժը ($P_{\text{գր}}$): Գրտնակման ուժը այն հիմանական պարամետրն է, որն ազդում է մակերևութային շերտի ամրացման աստիճանի և խորության, մակերևութի խորդուբորդությունների, մետաղի մակերևութային շերտերում առաջացող լարումների վրա [8,31,32,40,41,53-56,59-61,83,114,120,121]:

20XHA պողպատի գրտնակման դեպքում խորդուբորդությունների մեծությունը 0,6մկմ-ից փոքրանում է մինչև $Ra=0,15$ մկմ, ազդող ստատիկ ուժը 100-ից մինչև 350Ն մեծացման դեպքում, իսկ ուժի հետագա մեծացումը փաստորեն չի ազդում մշակվող մակերևութի միկրոերկրաչափության վրա: Տարբեր նյութերի միկրոանհարթությունների վերացման համար անհրաժեշտ են տարբեր հպումային ճնշումներ: Ուժի ազդեցությունը առաջացնում է միկրոանհարթությունների բարձրության կտրուկ նվազեցում: Միկրոպրոֆիլի խոռոչների լցվելու և մակերևութային շերտի ամրացման ընթացքում մեծանում է պլաստիկ դեֆորմացիայի դիմադրությունը և միկրոանհարթությունների բարձրությունը ուժի հետագա մեծացման ընթացքում նվազում է պակաս ինտենսիվությամբ: Ամենափոքր միկրոանհարթությունների բարձրությունը առաջանում է միկրոպրոֆիլի առավելագույն հնարավոր լցվելուց: Օպտիմալ արժեքից P ուժի մեծացումը կարող է հանգեցնել միկրոանհարթությունների բարձրության մեծացման: Սովորական գրտնակման դեպքում գրտնակման ուժը գտնվում է 150-300Ն սահմաններում: Ուժի այդ մեծությունները փոքր կոշտության դետալների մշակման ժամանակ կարող են բերել դրանց դեֆորմացիաների, հետևաբար մշակման սխալանքների կամ մշակման գործընթացում հանգեցնում են տատանումների առաջացման [94]:

Փաստված է, որ մակերևութային շերտի ամրացման աստիճանն ու խորությունը անմիջապես կախված են գրտնակման ռեժիմներից, նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկություններից: Պլաստիկ հատկություններով պողպատները գրտնակելով համեմատաբար փոքր ուժերով, կարելի է ստանալ ավելի մեծ ամրացված շերտի խորություն, քան ավելի կարծր և ամուր պողպատների դեպքում: Գրտնակման ուժի մեծացմանը զուգընթաց նվազում է միկրոկարծրության գրադիենտը [94]:

1.1.2. Գրտնակման գործընթացում մատուցման ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա

Մշակված մակերևութի խորդուբորդությունները էականորեն կախված են գործիքի մատուցումից: Գրտնակման ժամանակ կիրառվում են հիմնականում փոքր մատուցումներ (0,02-0,1 մմ/պտտ), որը բացատրվում է գործիքի հետքերի ծածկման անհրաժեշտությամբ: Ընդհանրապես, որքան փոքր է մատուցումը, այնքան փոքր է գրտնակվող մակերևութի խորդուբորդությունների բարձրությունը: Սակայն, մատուցման փոքրացումը բերում է մակերևութային խորդուբորդությունների փոքրացում մինչև որոշակի սահման: Կրկնվող դեֆորմացիաների թվի թույլատրելի սահմանն անցնելու հետևանքով առաջանում է գերամրացում: Կրկնվող դեֆորմացիաների թիվը կախված է մատուցման մեծությունից և գնդիկի անցումների քանակից, ուստի վերջինիս մեծացման դեպքում մակերևութի խորդուբորդությունների մեծությունը սկզբում փոքրանում է, այնուհետև, գերամրացման հետևանքով աճում: Մատուցումների փոքրացումը բերում է արտադրողականության նվազում [8,53-56,59-61,94]:

Փորձնականորեն ապացուցված է այն դրույթը, որ մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների մեծությունը ուղիղ համեմատական է մատուցման քառակուսուն և հակադարձ համեմատական գնդիկի շառավիղին: Տրված անհարթության ստացման համար (առանց հաշվի առնելու տեխնոլոգիական համակարգի առաձգական դեֆորմացիան, մետաղի պլաստիկ հոսքը և մշակման ռեժիմների ազդեցությունը) մատուցման մեծությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով $Rz_{\text{расч}} = \frac{S^2}{8R}$, որտեղ S մատուցումն է, R ՝ գործիքի սֆերիկ մասի շառավիղը [72,78,79,81,82,84,85,87,88]:

Մատուցման մեծացման պարագայում մշակված մակերևույթի անհարթությունների բարձրությունը կտրուկ մեծանում է, իսկ Rz-ի իրական մեծությունը մեծ է հաշվարկայինից, որը բացատրվում է մետաղի պլաստիկ հոսքի ժամանակ միկրոանհարթությունների պրոֆիլի աղավաղմամբ, դրանից բացի մշակված մակերևույթի խորդուբորդությունների վրա ազդում են նաև տեխնոլոգիական համակարգի տատանումները և այլ գործոններ: Պողպատ 45 և IX15 նախապատրաստվածքների գրտնակման ժամանակ նկատվել է, որ մատուցումը փոքրացնելիս (մինչև 0,02 մմ/պտտ) միկրոկարծրությունը և ամրացված շերտի խորությունը մեծանում են: Ավելի փոքր մատուցումների դեպքում միկրոկարծրությունը որոշ չափով նվազում է [88,89,102,108,109]:

1.1.3. Գրտնակման գործընթացում արագության և անցումների թվի ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա

Արագությունը (V) գրտնակման ժամանակ մակերևույթի անհարթության վրա ավելի քիչ է ազդում, քան գրտնակման ուժն ու մատուցումը: Ալմաստե իդենտորով գրտնակելու դեպքում, ի հաշիվ ալմաստի բարձր ջերմահաղորդականության, հնարավոր է լինում մշակման արագությունը մեծացնել: Rz-ի մեծությունը արագության փոփոխությունից՝ 20-100 մ/րոպ, գրեթե չի փոխվում: Իսկ V-ի մեծացումը 200-250 մ/րոպ առաջացնում է Rz-ի մեծացում, որը պայմանավորված է տատանումների առաջացմամբ [54,98]: Նշվածը վերաբերում է ալմաստային հարթեցման գործընթացին, որի ժամանակ ազդող ուժը բավականին փոքր է, ինչպես նաև փոքր է դեֆորմացվող մետաղի ծավալը: Եվ այս տեխնոլոգիան օգտագործվում է մակերևույթի խորդուբորդությունների հարթեցման համար: Սակայն գրտնակման ժամանակ ազդող ուժը մեծ է, որպեսզի ստացվի նաև որոշակի խորությամբ ամրացված շերտ: Իսկ ուժը մեծացնելուց, բնականաբար, ծանրանում են շփման պայմանները, որը արագության մեծացման համար սահմանափակող գործոն է: Գրտնակման ժամանակ օպտիմալ արագությունը կազմում է 50-60 մ/րոպ: Գրտնակման արագությունը չի ազդում միկրոկարծրության և ամրացված շերտի խորության վրա: 120մ/րոպ-ից բարձր արագությունների դեպքում նկատվում է միկրոկարծրության չնչին նվազում [8]:

Կախված անցումների թվից՝ առավելագույն ազդեցություն նկատվում է առաջին անցման ժամանակ, իսկ երկրորդ, երրորդ անցումները ավելի լավացնում են

մակերևութային շերտի վիճակը, մակերևութային շերտի խորդուբորդությունները նվազում են, ամրացման աստիճանը և ամրացված շերտի խորությունը մեծանում են [81]: Անցումների թվի հետագա մեծացումը բերում է մակերևութային շերտի գերամրացման:

1.2. Ջերմային երևույթները և գրտնակիչի կայունությունը գրտնակման ժամանակ

Գրտնակման ժամանակ ծախսված էներգիայի մեծ մասը վերածվում է ջերմության ու հաղորդվում է դետալին և ինդենտորին: Մակերևութային բարակ շերտում մշակման ժամանակ ջերմաստիճանի բարձրացումը ազդում է որակական ցուցանիշների վրա: Մակերևութային շերտում ջերմաստիճանի բարձրացումը ազդում է մնացորդային լարումների մեծության և նրանց նշանի վրա, ինչպես նաև մշակվող նյութի կառուցվածքի և ֆազային վիճակի վրա: Իսկ գործիքի տաքացումը ազդում է նրա կայունության վրա [21,94]:

Յա. Ի. Բարացի [21,94] ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ գրտնակման արագության մեծացումը բերում է հպման տիրույթում ջերմաստիճանի աճի: Ընդ որում, բարձր ջերմությամբ գոտիները տարածվում են դեպի հպման մասի եզրեր, այսինքն հեռանում են կենտրոնից: Ըստ Յա. Ի. Բարացի [21] ուսումնասիրությունների IIIX15 մակնիշի պողպատի գրտնակման ժամանակ, երբ արագությունը փոքր է 100մ/րոպ հպման մասում ջերմաստիճանը չի գերազանցում 200-400°C: Ջրմաստիճանի նման մեծությունները չեն բերում ֆազային փոփոխություններ, էականորեն չեն ազդում նյութի կառուցվածքի վրա, սակայն, առաջացող ջերմությունը մեծ ազդեցություն ունի մնացորդային լարումների մեծության և նշանի վրա, ինչպես նաև նվազեցնում է ինդենտորի կայունությունը [29,94]:

Գրտնակիչի կայունությունը այն կարևոր գործոններից մեկն է, որը բնութագրում է գրտնակման գործընթացի բոլոր որակական ցուցանիշների կայունությունը ժամանակի ընթացքում և գրտնակման գործընթացի արդյունավետությունը [29]:

Գրտնակման գործընթացում ինդենտորի մաշի համալիր ուսումնասիրություն կատարվել է Է.Գ.Գրանովսկու կողմից: Գրտնակման գործընթացում ինդենտորի աշխատանքային մասում մաշման հետևանքով առաջանում է հարթակ: Մաշման չափը բնութագրում են հենց հարթակի մեծությամբ: Ըստ Է.Գ.Գրանովսկու [29] ինդենտորի

ինտենսիվ մաշ նկատվում է հպման սկզբնական պահին և որոշակի ճանապարհ անցնելուց հետո մաշման գործընթացը կայունանում է: Ինդենտորի մաշի վրա ազդում են մի շարք գործոններ՝ ինդենտորի և մշակվող դետալի նյութը և ելակետային խորդուբորդությունները, ինդենտորի աշխատանքային մասի ձևը և այլն:

1.3. Մեքենամասերի բանվորական մակերևույթների գերձայնային գրտնակման գործընթացների իրականացման առանձնահատկությունները

ՄՊԴ մեթոդներից առավել պրոգրեսիվ են գերձայնային տատանումների կիրառմամբ (ԳՁՏ) գրտնակման մեթոդները, մշակման տեղամաս հաղորդելով շառավղային գերձայնային տատանումներ:

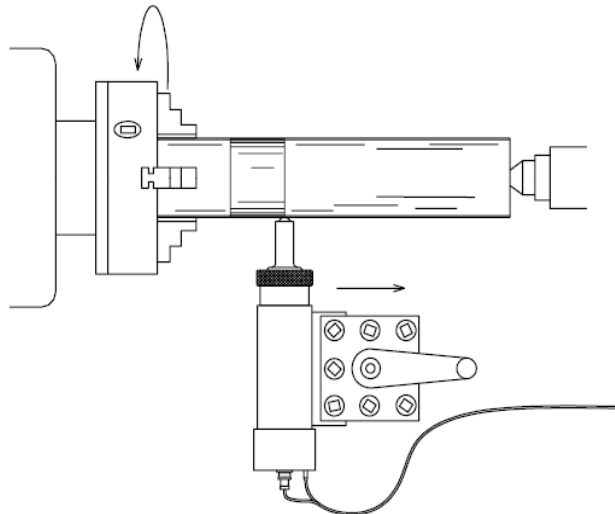
ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ԳՁՏ կիրառման տեսության կայացման և զարգացման հիմքում ընկած են Ա.Ի. Մարկովի, Վ.Ֆ. Կազանցեվի, Վ.Վ. Կլուբովիչի, Լ.Դ. Ռոզենբերգի, Վ.Պ. Սեվերդենկոյի, Ա.Վ. Ստեպանենկոյի, Օ.Վ. Տաբատինովի, Ա.Մ. Միցկեվիչի, Ի.Ի. Մուխանովի, Խ.Մ. Ռախիմյանովի, Ի.Դ. Ուստինովի, Յու.Վ. Խոլոպովի և ուրիշների աշխատանքները:

ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ԳՁՏ առաջին անգամ առաջարկվել և կիրառվել են 1965թ.-ին Յու.Վ. Խոլոպովի և Ա.Մ. Միցկեվիչի [47] կողմից և սկզբում օգտագործվել են մեքենամասերի գերձայնային փայլեցման համար, որը մեքենաշինության մեջ մեծ հետաքրքրություն է առաջացրել: 1966թ.-ին Ի.Ի. Մուխանովը [48,49] ցույց տվեց, որ գերձայնային հաճախականությամբ շառավղային ուղղությամբ տատանվող ինդենտորի ազդեցության պայմաններում մշակման գոտում պարբերաբար առաջանում են սեղման և սահքի դեֆորմացիաներ, որի հետևանքով նկատվում է խորդուբորդությունների նվազում, միկրոկարծրության և սեղմող մնացորդային լարումների աճ: Այս գիտական աշխատանքները համարվում են ՄՊԴ գրտնակման գործընթացում ԳՁՏ կիրառման տեսական և գործնական զարգացման հիմքը: Այդ հետազոտությունների հիման վրա հաստատված է որ, ՄՊԴ գրտնակման մեթոդը շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ ունի ավանդական գրնակման առավելությունները. ջերմամշակված և սովորական պողպատի, թուջի, գունավոր մետաղների համաձուլվածքներից, բարձր ամրությամբ, կոռոզիակայուն և չժանգոտվող պողպատներից մեքենամասի մշակվող մակերևույթի ելակետային խորդուբորդությունները նվազում են մինչև $Ra\ 0,2$, մակերևութային շերտի

միկրոկարծրությունը կախված մշակվող նյութից աճում է 20-270%, հպումային դիմացկունության սահմանը աճում է 15-25%, որի հետևանքով լավանում են շահագործական ցուցանիշները, մեծանում է մաշակայունությունը և հնարավորություն է ստեղծվում մշակված դետալները օգտագործել նաև սննդային արդյունաբերության մեջ, քանի որ մակերևութային շերտում բացակայում են աբրազիվային հատիկներ [25,27,42,86,104-106]:

Ընդհանուր առմամբ գերձայնային մշակման գործընթացը բնութագրվում է գործիքի աշխատանքային մասի r շառավղով և ձևով, ինտենդորի տատանումների ամպլիտուդով $2A$, դետալին գործիքի սեղման ուժի մեծությամբ $P_{\text{եր}}$, դինամիկ ազդեցության մեծությամբ P , S մատուցմամբ, գործիքի անցումների թվով i , նախապատրաստվածքի շրջանային կամ գծային արագությամբ V , օգտագործվող քսուքահովացնող հեղուկով (ՔՀՀ) [104-106]:

Գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակումը սովորական գրտնակման գործընթացից տարբերվում է նրանով, որ գործիքը կատարում է գերձայնային տատանումներ և ոչ մեծ ուժով է ազդում դետալի վրա:



Նկ.1.2. Գերձայնային գրտնակման սխեմա

Գերձայնային տատանումներով գրտնակման գործընթացը հնարավորություն է տալիս նվազեցնել մակերևութային շերտի անհարթությունների բարձրությունը, ստանալ բարձր միկրոկարծրությամբ մակերևութային շերտ: Անհրաժեշտ է նշել նաև որ քսուքահովացնող հեղուկների ազդեցությունն ավելի արդյունավետ է դառնում գերձայնային տատանումների պայմաններում: Գերձայնային տատանումները

պայմաններ են ստեղծում ազդող ստատիկ ուժի նվազեցման, որը շատ կարևոր է հատկապես ոչ բավարար կոշտության դետալների և սնամեջ դետալների մշակման ժամանակ [104-106]:

Գերձայնային տատանումների պայմաններում փոքրանում է շփման ուժը ի հաշիվ այն բանի, որ փոխվում է շփվող մակերևույթների շփման կինեմատիկան և բնույթը [104-106]:

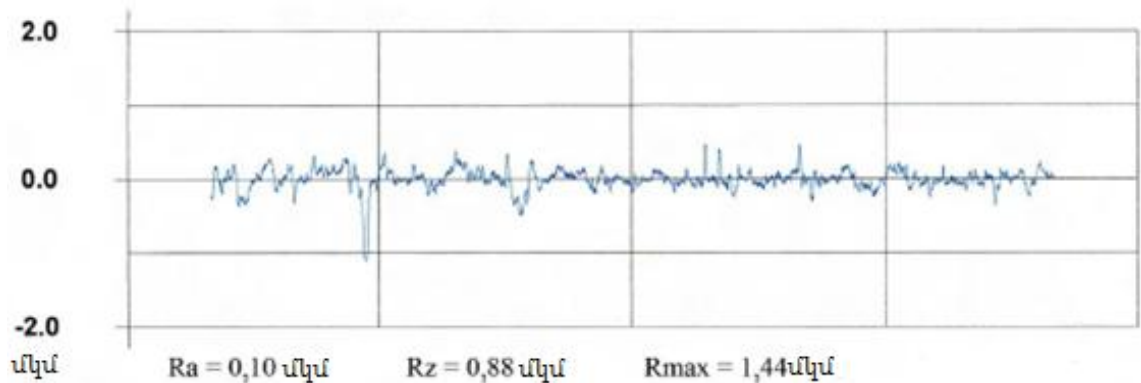
Գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման գործընթացը լավ ուսումնասիրված չէ, հատկապես տրված չէ ստատիկ ուժի օպտիմալ արժեքը, տրված չեն օպտիմալ մշակման ռեժիմները: Սա այն դեպքում, երբ որոշ գիտնականներ՝ Դ.Պապշևը, Յու.Շնեյդերը [59-61, 110, 116-118], և ուրիշներ գտնում են, որ գրտնակման գործընթացի բոլոր որակական (մակերևութային խորդուբորդություններ, միկրոկարծրություն, մակակոփման աստիճան և խորություն, մետաղի ֆիզիկական հատկություններ), հավասարապես նաև տնտեսական բնութագրերը, հիմնականում կախված են մշակման ռեժիմներից, հատկապես գրտնակման ուժից, մատուցումից, անցումների թվից և այլ պայմաններից, որոնց օպտիմալ արժեքները որոշիչ են բարձրորակ մակերևույթների ստացման, հետևաբար, նախապայման՝ մեքենամասերի բարձր շահագործական ցուցանիշների ապահովման համար:

1.3.1. Գրտնակման գործընթացում ուժի ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա ԳՁՏ կիրառման դեպքում

Գրտնակման ուժն այն հիմնական պարամետրն է, որն ազդում է մակերևութային շերտի ամրացման աստիճանի և խորության, մակերևույթի խորդուբորդությունների, մետաղի մակերևութային շերտերում առաջացող լարումների վրա: Վ.Վ.Խարչենկոն ուսումնասիրել է շառավղային գերձայնային տատանումներով գրտնակման գործընթացում մակերևույթի խորդուբորդությունները կախված ազդող ստատիկ ուժից [99]:

Պողպատի գերձայնային տատանումներով գրտնակման դեպքում միկրոանհարթությունների նվազագույն բարձրությունը ստացվում է ստատիկ ուժի 2.5-3.5 անգամ ավելի փոքր արժեքների դեպքում, քան առանց գերձայնային տատանումներով գրտնակման: Սա բացատրվում է նրանով, որ գերձայնի ազդեցությունը, այսինքն դինամիկ նշանափող բեռնվածքի ազդեցությունը առաջացնում

է անշարժ դիսկոկացիաների ակտիվացում, հետևաբար առաջ է բերում ստատիկ լարումների նվազեցում, որն անհրաժեշտ է մետաղի պլաստիկ դեֆորմացման համար[99]:



Նկ.1.3. BT6 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքի մակերևույթի խորդուբորդությունները գերձայնային գրտնակումից հետո ($P_{\text{CT}} = 50$ Ն) [99]

Շառավղային ԳՁՏ կիրառման ժամանակ առաջանում է նաև ուժի դինամիկ բաղադրիչ, որին գումարվում է ազդող ստատիկ ուժը: Դինամիկ ուժի մեծությունը պայմանավորված է ակուստիկական համակարգի կոշտությունից և գերձայնային տատանման պարամետրերից: Այս դեպքում ուժը փոխվում է սինուսի օրենքով, որի հետևանքով ազդող միջին ուժը նվազում է:

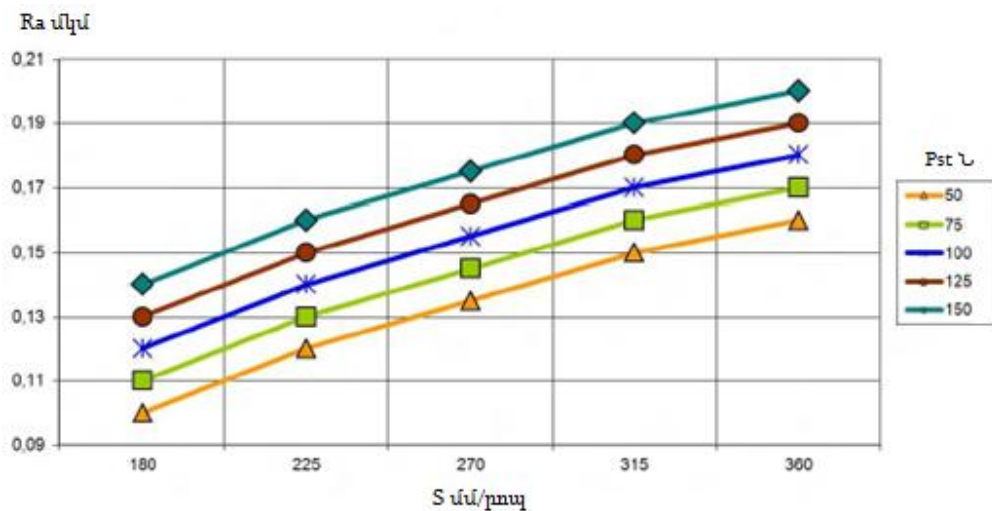
Ընդհանրացնելով կարելի է ասել որ գրտնակման ուժը այն հիմնական պարամետրն է, որն ազդում է մակերևույթային շերտի ամրացման աստիճանի և խորության, մակերևույթի խորդուբորդությունների, մետաղի մակերևույթային շերտերում առաջացող լարումների վրա [99]:

1.3.2. Գրտնակման գործընթացում մատուցման ազդեցությունը մակերևույթային շերտի որակական ցուցանիշների վրա ԳՁՏ կիրառման դեպքում

Փորձնականորեն ապացուցված է այն դրույթը, որ մակերևույթային շերտի խորդուբորդությունների մեծությունը ուղիղ համեմատական է մատուցման քառակուսուն և հակադարձ համեմատական գնդիկի շառավիղին [67,103-106]: Տրված անհարթության ստացման համար (առանց հաշվի առնելու տեխնոլոգիական համակարգի առաձգական դեֆորմացիան, մետաղի պլաստիկ հոսքը և մշակման

ռեժիմների ազդեցությունը) մատուցման մեծությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով $Rz_{\text{расч}} = \frac{S^2}{8R}$, որտեղ S մատուցումն է, R՝ գործիքի սֆերիկ մասի շառավիղը:

Մատուցման մեծացման պարագայում մշակված մակերևույթի անհարթությունների բարձրությունը կտրուկ մեծանում է, իսկ Rz-ի իրական մեծությունը մեծ է հաշվարկայինից, որը բացատրվում է մետաղի պլաստիկ հոսքի ժամանակ միկրոանհարթությունների պրոֆիլի աղավաղմամբ, դրանից բացի, մշակված մակերևույթի խորդուբորդությունների վրա ազդում են նաև տեխնոլոգիական համակարգի տատանումները և այլ գործոններ: Սակայն, գերձայնային գրտնակման ժամանակ, փորձնական կորերը մոտ են հաշվարկայինին ($Rz_{\text{расч}} \approx Rz$): Նման երևույթները բացատրվում է նրանով, որ ի տարբերություն առանց գերձայնային տատանումների գրտնակման գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման դեպքում 2.5-3.5 անգամ փոքր գրտնակման ուժը, առաջացնում է այդ նույն լարումները, քան ավանդական գրտնակման դեպքում, որի հետևանքով էականորեն ավելի փոքր է գործիքի առջևի մասով առաջացող ալիքը և փոքր է մակերևույթի միկրոպրոֆիլի աղավաղումը:



Նկ.1.4. BT6 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքի մակերևույթի խորդուբորդությունների կախումը մատուցումից ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում[99]

$Rz_{\text{расч}} = \frac{S^2}{8R}$ արտահայտությունը ճիշտ է նաև գերձայնային տատանումների կիրառմամբ մշակման համար, սակայն երբ տատանումները կիրառվում են առանցքային ուղղությամբ հաշվարկային խորդուբորդությունների բարձրությունը ($Rz_{\text{расч}}$) և իրական խորդուբորդությունների բարձրությունը (Rz)

էականորեն նվազում են և նշված արտահայտությունը ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$Rz_{\text{расч}} = \frac{(S-S_A)^2}{8R}$$

որտեղ S_A մատուցման տատանման ամպլիտուդն է:

1.3.3. Գրտնակման գործընթացում արագության ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա ԳՁՏ կիրառման դեպքում

Արագությունը (V) գրտնակման ժամանակ մակերևութի անհարթության վրա ավելի քիչ է ազդում, քան ստատիկ ուժն ու մատուցումը: Գրտնակման ժամանակ օպտիմալ արագությունը կազմում է 50-60 մ/րոպ [94]:

Որոշ սխեմաներով գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման ժամանակ հնարավորություն է ստեղծվում արագությունը մեծացնել, որը կբերի արտադրողականության բարձրացման:

Արագությունը սահմանափակող գործոններ են բարձր պլաստիկությունը, ցածր ջերմահաղորդականությունը, ինչի հետևանքով գրտնակման գոտում ջերմությունը բարձրանում է և հետևաբար նվազում է ինդենտորի կայունությունը: Տիտանին և պղնձի համաձուլվածքներից մեքենամասերի գրտնակման ժամանակ արագություններն ավելի փոքր են մոտ 16-25 մ/րոպ սահմաններում [94]:

Շառավղային և տանգենցյալ ԳՁՏ կիրառման դեպքում հնարավորություն է ստեղծվում մեծացնել գրտնակման արագությունը

1.3.4. Տատանման ամպլիտուդի և անցումների թվի ազդեցությունը ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում

Տատանման ամպլիտուդի 2-10մկմ արժեքների միջակայքում խորդուբորդությունների բարձրության փոփոխությունը մոնոտոն չէ՝ նկատվում է խորդուբորդությունների բարձրության մինիմում տատանման ամպլիտուդի 4-6մկմ արժեքների դեպքում [99]:

Գրտնակման գործընթացում մշակվող մեքենամասի վրա ուժի ազդեցության բազմակիությունը որոշում է գործիքի անցումների թիվը: Առավելագույն ազդեցություն նկատվում է առաջին անցման ժամանակ, իսկ երկրորդ, երրորդ անցումներն ավելի լավացնում են մակերևութային շերտի վիճակը. մակերևութային շերտի խորդուբորդությունները նվազում են, ամրացման չափը և ամրացված շերտի

խորությունը մեծանում է [94]: Անցումների թվի հետագա մեծացումը բերում է մակերևութային շերտի գերամրացում:

Նույն երևույթը նկատվում է նաև գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման դեպքում, սակայն երկրորդ և երրորդ անցումների արդյունավետությունը ավելի փոքր է, այդ պատճառով գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման դեպքում գործընթացն իրականացնում են հիմնականում մեկ անցումով, քանի որ անցումների թվի մեծացումը բերում է արտադրողականության նվազման:

1.4. Ջերմային երևույթները և գրտնակիչի կայունությունը ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման ժամանակ

Ինդենտորի միկրոերկրաչափությունը ուղղակիորեն ազդում է մշակվող մեքենամասի մակերևութային շերտի վրա: Գրտնակման ժամանակ անհրաժեշտ է, որ ինդենտորի խորությունները լինեն երկու դասով ավելի բարձր, քան մշակմամբ ստացվող մակերևութինը: Ինչպես ավանդական գրտնակման ժամանակ այդպես էլ շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման ժամանակ ծախսված էներգիայի մեծ մասը վերածվում է ջերմության ու հաղորդվում է դետալին և ինդենտորին [81]: Սակայն ի տարբերություն ավանդական գրտնակման գործընթացի շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման ժամանակ ինդենտորի որոշակի մասը տատանման ժամանակ դուրս է գալիս մշակվող դետալի հետ հպումից, ինչի հետևանքով նպաստավոր պայմաններ են ստեղծվում ինդենտորի հովացման համար, նվազում է գրտնակման միջին ուժը և ջերմաստիճանը:

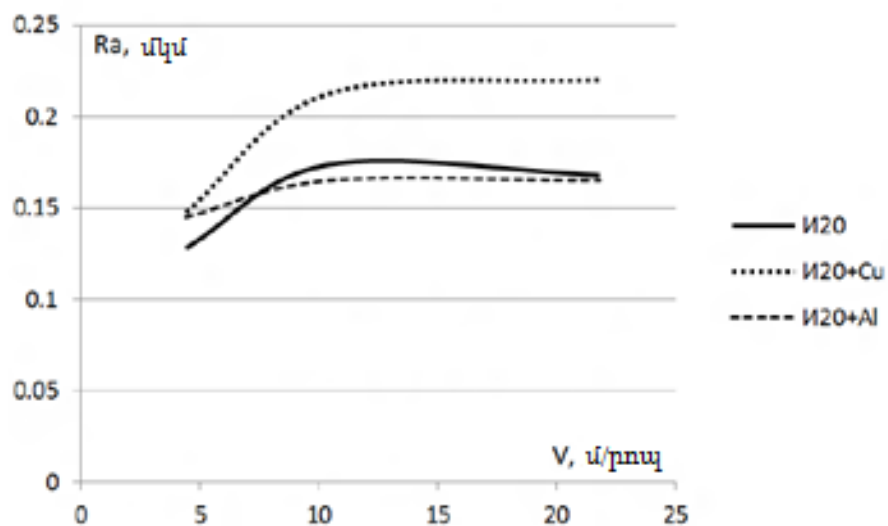
Քանի որ մակերևութային շերտում ջերմաստիճանի բարձրացումը ազդում է մնացորդային լարումների մեծության և նշանի վրա, ինչպես նաև մշակվող նյութի կառուցվածքի և ֆազային վիճակի վրա, հետևաբար ջերմաստիճանի նվազեցումը բերում է մշակվող մեքենամասի որակական ցուցանիշների լավացման: Իսկ գործիքի տաքացումը ազդում է նրա կայունության վրա [19,96]:

Այս դեպքում նույնպես գրտնակման գործընթացում ինդենտորի աշխատանքային մասում մաշման հետևանքով առաջանում է հարթակ: Մաշման չափը բնութագրում են առաջացող հարթակի մեծությամբ: Ըստ Է. Գ. Գրանովսկու [19] ինդենտորի ինտենսիվ մաշ նկատվում է հպման սկզբնական պահին և որոշակի ճանապարհ անցնելուց հետո մաշման գործընթացը կայունանում է: Ինդենտորի մաշի վրա ազդում են մի շարք

գործոններ՝ ինդենտորի և մշակվող դետալի նյութը և ելակետային խորդուբորդությունները, ինդենտորի աշխատանքային մասի ձևը և գերձայնային տատանման պարամետրերը: Քանի որ շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման ժամանակ ինդենտորի որոշակի մասը տատանման ժամանակ դուրս է գալիս մշակվող դետալի հետ հպումից, ինչի հետևանքով նպաստավոր պայմաններ են ստեղծվում ինդենտորի հովացման համար, նվազում է նաև իդենտորի մաշը [19,83]:

1.5. Տեխնոլոգիական միջավայրի ազդեցությունը գերձայնային գրտնակման գործընթացում

Գրտնակման գործընթացում բավականին ուսումնասիրված է տարբեր քուքահովացնող հեղուկների և գազային միջավայրերի ազդեցությունը, սակայն գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման գործընթացում տեխնոլոգիական միջավայրի ազդեցությունը հետազոտողների կողմից գրեթե չի ուսումնասիրվել: Վ.Ա.Տիտովը ուսումնասիրել է գերձայնային տատանումների կիրառմամբ տիտանի (BT22) գրտնակման գործընթացում տեխնոլոգիական միջավայրի ազդեցությունը [91,92]: Վ.Ա.Տիտովը որպես տեխնոլոգիական միջավայր ընտրել է արդյունաբերական յուղ N20, որը պարունակում է միջինը 10 մկմ հատիկայնությամբ պղնձի և ալյումինի փոշի:



Նկ.1.5. Մակերևույթի խորդուբորդության Ra պարամետրի կախումը արագությունից տարբեր քուքահովացնող հեղուկների կիրառման դեպքում[92]

Գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման ժամանակ որպես տեխնոլոգիական միջավայր հետազոտողների կողմից ուսումնասիրվել է միայն յուղերի ազդեցությունը, իսկ ավանդական գրտնակման գործընթացում կիրառվել են յուղ, բուսական հիմքով էմուլսիա և տարբեր գազային միջավայրեր [9,14,62,96]: Քանի որ

յուղերի օգտագործումը էկոլոգիապես վնասակար են, ինչպես նաև մեծ ծախսեր են պահանջում դրանց թափոնացումը, և քանի որ հետազոտողների կողմից սովորական գրտնակման դեպքում էմուլսիայի և գազային միջավայրերի կիրառմամբ ստացվել են լավ արդյունքներ հիմնավորված է դրանց կիրառումը նաև գերձայնային գրտնակման դեպքում: Ըստ Վ.Ա.Տիտովի մակերևութային շերտի միկրոկարծրությունը առավել մեծ է ստացվում **N20 + Al** կիրառման դեպքում:

1.6. Եզրակացություններ

Գրական աղբյուրների վերլուծության հիման վրա կարելի փաստագրել, որ .

1. ԳՁՏ գրտնակման գործընթացը լայն կիրառություն է ստացել և ԳՁՏ կիրառմամբ կարելի է մշակել հիդրո և պնևմազլանների միտցակոթերը, խողովակաշարերի ամրանները, տարբեր նշանակության և չափերի սկավառակների, կցորդիչների, կցաշուրթերի, շարժիչների, հաստոցների ռեդուկտորների, կոմպրեսորների և այլ տիպի մեխանիզմների դետալները [103-106]:
2. Գերձայնային տատանումներով կարելի է գրտնակել բարակապատ և ոչ կոշտ մեքենամասեր, ինչպես նաև այնպիսի նյութեր, որոնց վերջնամշակումը ավանդական եղանակով չի իրականացվում: ԳՁՏ գրտնակման դեպքում մակերևութի ելակետային խորդուբորդությունները նվազում են մինչև Ra 0,2, մակերևութային շերտի միկրոկարծրությունը կախված մշակվող նյութից աճում է 20-270%, հպումային դիմացկունության սահմանը աճում է 15-25%, որի հետևանքով լավանում են շահագործական ցուցանիշները, մեծանում է մաշակայունությունը և հնարավորություն է ստեղծվում մշակված դետալները օգտագործել նաև սննդային արդյունաբերության մեջ, քանի որ մակերևութային շերտում բացակայում են աբրազիվային հատիկներ [103-106]:
3. ԳՁՏ գրտնակման գործընթացը ուսումնասիրված է բավականին մանրակրկիտ, սակայն մինչ այժմ ուսումնասիրված և բացահայտված չեն նրա կինեմատիկական առանձնահատկությունները: ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում հիմնականում կիրառվել են շառավղային ԳՁՏ: Վերջին տարիներին ԳՁՏ հետազոտման գործընթացում նկատվում է նրանց ուսումնասիրման նոր տենդենց՝ հետազոտողները մշակում ու կիրառում են ինդենտորին ԳՁՏ

հաղորդման նոր սխեմաներ՝ առանցքա-տանգենցիալ և պտտական գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման գործընթացները:

Կատարված վերլուծությունը թույլ է տալիս եզրակացնել, որ.

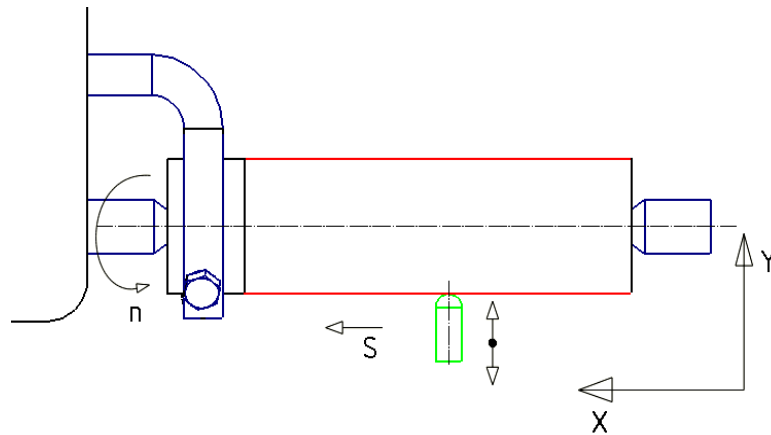
1. ԳՁՏ գրտնակման գործընթացը լայն կիրառություն է ստացել մեքենաշինական արտադրության տարբեր ոլորտներում, որի կիրառման դեպքում մակերևույթի ելակետային խորդուբորդությունները նվազում են մինչև $Ra\ 0,2$, մակերևութային շերտի միկրոկարծրությունը՝ կախված մշակվող նյութից, աճում է 20-270%, հպումային դիմացկունության սահմանը աճում է 15-25%, որի հետևանքով լավանում են շահագործական ցուցանիշները: ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի արդյունավետության բարձրացմանը նպաստող յուրաքանչյուր նոր տեխնոլոգիայի մշակումը և հետազոտությունների կատարումը գիտության և արդյունաբերության զարգացման համար խիստ կարևոր և արդիական խնդիր է:
2. ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում հիմնականում կիրառվել են շառավղային ԳՁՏ, հայտնի են նաև առանցքա-տանգենցիալ և պտտական գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման գործընթացների հետազոտման արդյունքներ, որոնք նույնպես լավացնում են մեքենամասերի որակական ցուցանիշները: Ներկայումս ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի հետագա զարգացման համար հետազոտողները մշակում ու կիրառում են ինդենտորին ԳՁՏ հաղորդման նոր սխեմաներ:
3. Ուսումնասիրված և բացահայտված չեն ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի կինեմատիկական առանձնահատկությունները ու նրանց ազդեցությունը գրտնակիչի ուժային ծանրաբեռնվածության վրա:
4. ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում հիմնականում կիրառում են պլեզոկերամիկական գերձայնային գրտնակիչներ, որոնք օժտված են ցածր հուսալիությամբ և թույլ չեն տալիս գրտնակման գոտի ներմուծել բարձր հզորության ԳՁՏ, որից կախված է գործընթացի արդյունավետությունը:
5. ԳՁՏ գրտնակման գործընթացը իրականացվում է օպտիմալ ռեժիմներից հեռու տիրույթում, քանզի բացակայում են գործընթացի կառավարման ֆունկցիաներ:

ԳԼՈՒԽ 2. ՏԱՐԲԵՐ ԱՌԱՆՑՔՆԵՐՈՎ ԳՁՏ ԳՐՏՆԱԿՄԱՆ

ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

2.1. Շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման գործընթաց

Շառավղային գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման ժամանակ ինդենտորը ստանում է տատանումներ՝ ուժի շառավղային բաղադրիչի ուղղությամբ (նկ.2.1):



Նկ. 2.1. Շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի սկզբունքային սխեմա

Շառավղային գերձայնային տատանումներով գրտնակման գործընթացում ազդող ստատիկ ուժից բացի տատանումների հետևանքով առաջանում է նաև ուժի դինամիկ բաղադրիչ, որը հնարավորություն է տալիս ազդող ստատիկ ուժը նվազեցնել [101,103-106]:

Քանի որ գրտնակման ժամանակ շառավղային ուժը մեծ է, իսկ դետալի մշակման ժամանակ ճկվածք առաջանում է շառավղային ուժից, հետևաբար ոչ կոշտ դետալների մշակումը գրտնակմամբ հնարավոր չէ իրականացնել: Ազդող ստատիկ ուժի նվազեցումը հնարավորություն է տալիս գրտնակման գործընթացը կիրառել նաև ոչ կոշտ դետալների մշակման ժամանակ:

Շառավղային գերձայնային տատանումներով գրտնակման գործընթացում ինդենտորը պարբերաբար դուրս է գալիս հպումից, որը պայմաններ է ստեղծում գրտնակման ջերմաստիճանի փոքրացման համար: Նշվածը ավելի արտահայտված է քսուկահովացնող հեղուկների կիրառման պայմաններում, որպես հետևանք էապես նվազում է գործիքի մաշը: Գրտնակման ջերմաստիճանի փոքրացումը հնարավորություն է տալիս գրտնակման գործընթացը կիրառել նաև ցածր

ջերմահաղորդականություն ունեցող նյութերի մշակման ժամանակ, ինչպիսին է տիտանը:

Շառավղային տատանումներով գրտնակման ժամանակ մեծանում է բեռնվածքը ինդենտորի գագաթին: Շառավղային տատանումներով գրտնակման ժամանակ ինդենտորի ներխրման չափը փոփոխական է, ընդ որում գրտնակման խորությունը փոփոխվում է հետևյալ ձևով՝ $h=h_0\cos(\omega t)$: Քանի որ ինդենտորի ներխրման չափը փոփոխական մեծություն է, հետևաբար փոփոխական է նաև դեֆորմացվող նյութի ծավալը:

2.2. Շառավղայի ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի կինեմատիկայի տեսական հետազոտություն

Գրտնակման գործընթացում շառավղային, տանգենցյալ-առանցքային և պտտական ԳՁՏ կիրառման հայտնի մեթոդների [57,103-106] ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ այդ գործընթացներում, որոշակի մշակման ռեժիմների դեպքում, ժամանակի որոշակի tx տևողությամբ ինդենտորի սֆերիկ մասը առջևի և կողային մասերով պոկվում է մշակվող դետալից, դրանով լավացնելով գրտնակման պայմանները:

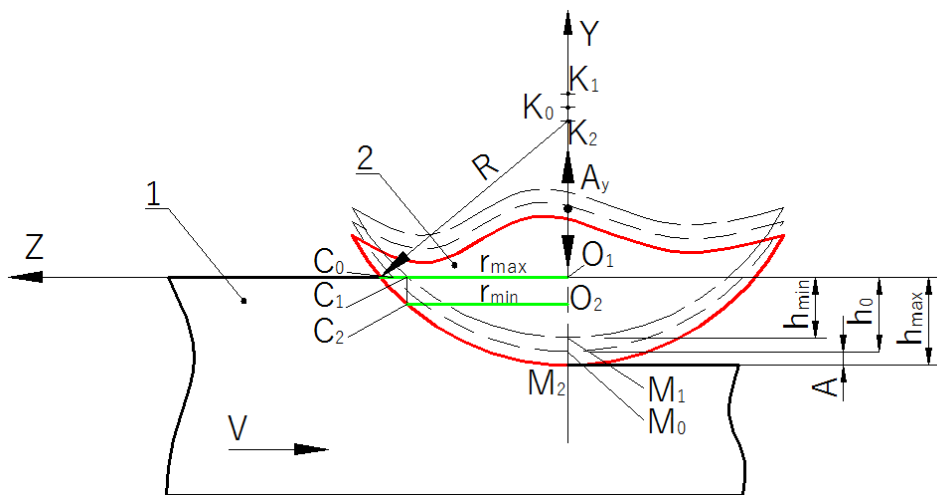
Քանի որ ինդենտորի գագաթի մերձակա ետին մասը, որը մշակվող մակերևույթի նորմալի ուղղությամբ, որոշակի խորության վրա, գտնվում է մշակվող մակերևույթի հետ անընդհատ հպման մեջ, հետևաբար ինդենտորի հարաբերական շարժման տրաեկտորիան և համապատասխանաբար ինդենտորի մաշը մեծանում են [70,119]:

Այդ երևույթը բացակայում է, երբ գրտնակման գործընթացն իրականացվում է շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ, որի դեպքում ինդենտորի ետին մասը մշակվող մակերևույթի նորմալի ուղղությամբ ժամանակի որոշակի tx տևողությամբ պարբերաբար պոկվում է մշակվող դետալի հետ հպումից: Սակայն շառավղային ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման դեպքում չեն ուսումնասիրվել ինդենտորի առջևի և կողային մասերով մշակվող դետալի հետ հպումային երևույթները:

Որպես ելակետային դրույթներ ընդունենք (նկ.2.2):

- C կետը ինդենտորի գնդային սեգմենտի հպման կետն է մշակվող դետալի մակերևույթի հետ ժամանակի այն պահին, երբ ինդենտորը ստատիկ ուժի $P_{\text{ст}}$ ազդեցության տակ ներխրված է մշակվող նյութի մեջ ամենամեծ խորությամբ h_{max} .

- ինդենտորը կատարում է շառավղային Φ շարժում իր զրոյական կետից, որը գտնվում է գրտնակվող մակերևույթից հօ խորության վրա A_y տատանման ամպլիտուդով այդ մակերևույթի նորմալի ուղղությամբ, այսինքն Y առանցքի ուղղությամբ.
- K_0 , K_1 և K_2 կետերը – սֆերիկ ինդենտորի կենտրոնի դիրքերն են ժամանակի այն պահի համար, երբ ինդենտորի գագաթը գտնվում է գրտնակվող մակերևույթից համապատասխանաբար h_0 , $h_{\min}$ և $h_{\max}$ խորությունների վրա.
- $r_{\max}$ և $r_{\min}$ գնդային սեգմենտի հիմքի շառավղի մեծություններն են ժամանակի այն պահին, երբ ինդենտորի գագաթը գտնվում է գրտնակվող մակերևույթից համապատասխանաբար $h_{\max}$ և $h_{\min}$ խորությունների վրա:



Նկ. 2.2. Շառավղային Φ շարժման գրտնակման գործընթացում առջևի մասի հպումային երևույթի ուսումնասիրման սխեմա

Շառավղային Φ շարժման գրտնակման գործընթացում կոորդինատական համակարգի XOZ հարթությունը (X առանցքը ցույց է տրված նկ.2.6) ինդենտորի սֆերիկ մասից հատում է h_i բարձրությամբ գնդային սեգմենտ: Սեգմենտի հիմքի շառավիղը կարելի է որոշել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$r_i = \sqrt{R^2 - (R - h_i)^2} = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y \cos \omega t))^2} \quad (2.1)$$

որտեղ r_i –ն h_i բարձրությամբ գնդային սեգմենտի շառավիղն է:

Հաշվի առնելով, որ $M_1 M_0 = M_0 M_2 = \mp A_y$ (2.1) ից r_0 , $r_{\max}$ և $r_{\min}$ մեծությունները կարելի է գրել հետևյալ տեսքով

$$r_0 = \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2} \quad (2.2)$$

$$r_{\max} = \sqrt{R^2 - (R - h_{\max})^2} = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} \quad (2.3)$$

$$r_{\min} = \sqrt{R^2 - (R - h_{\min})^2} = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} \quad (2.4)$$

Գնդային սեգմենտի հիմքի շառավղի փոփոխությունը ԳՁՏ ինդենտորի առաջին և երրորդ քարոդների ընթացքում կախված է ինդենտորի ընթացիկ դիրքից, որը հաշվի առնելով (2.1)-(2.2) կարելի է որոշել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\Delta r_i = r_i - r_0 = \pm \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y \cos \omega t))^2} \mp \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2} \quad (2.5)$$

Իսկ երկրորդ և չորրորդ քարոդների ընթացքում հիմքի շառավղի փոփոխությունը կարելի է որոշել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\Delta r_i = r_0 - r_i = \mp \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y \cos \omega t))^2} \pm \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2} \quad (2.6)$$

Գերձայնային տատանման առաջին և երկրորդ քարոդների ընթացքի վերջում հաշվի առնելով (2.3)-(2.6) կարելի է որոշել գնդային սեգմենտի հիմքի շառավղի համապատասխանաբար Δr_1 և Δr_2 փոփոխությունները:

$$\Delta r_1 = r_{\max} - r_0 = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2} \quad (2.7)$$

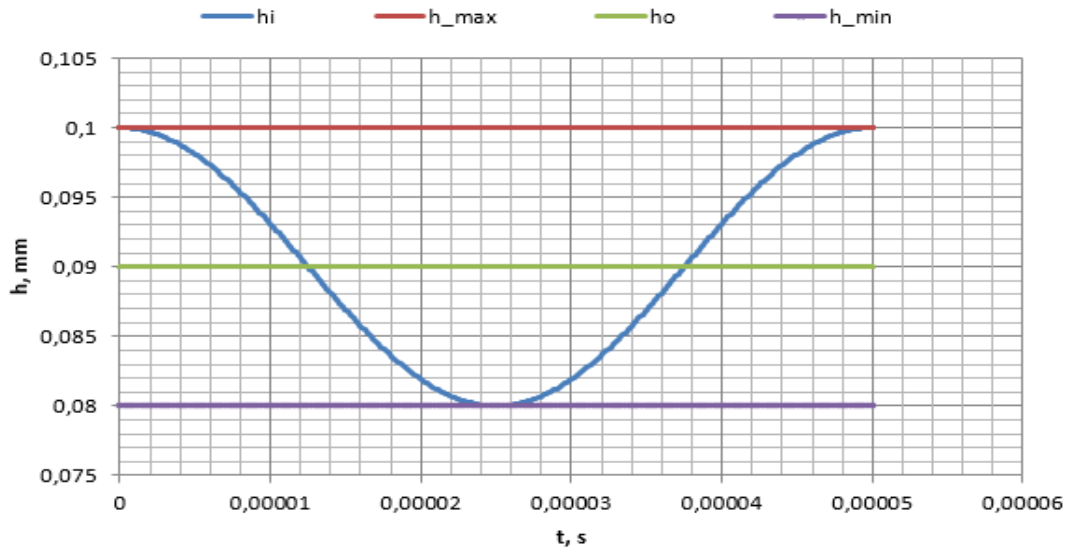
$$\Delta r_2 = r_0 - r_{\min} = \sqrt{R^2 - (R - h_0)^2} + \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} \quad (2.8)$$

Հետևաբար գնդային սեգմենտի հիմքի շառավղի առավելագույն փոփոխություն կլինի $\Delta r = \Delta r_1 + \Delta r_2$, որը հաշվի առնելով (2.7)-(2.8) կարելի է գրել հետևյալ ձևով:

$$\Delta r = \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} + \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} \quad (2.9)$$

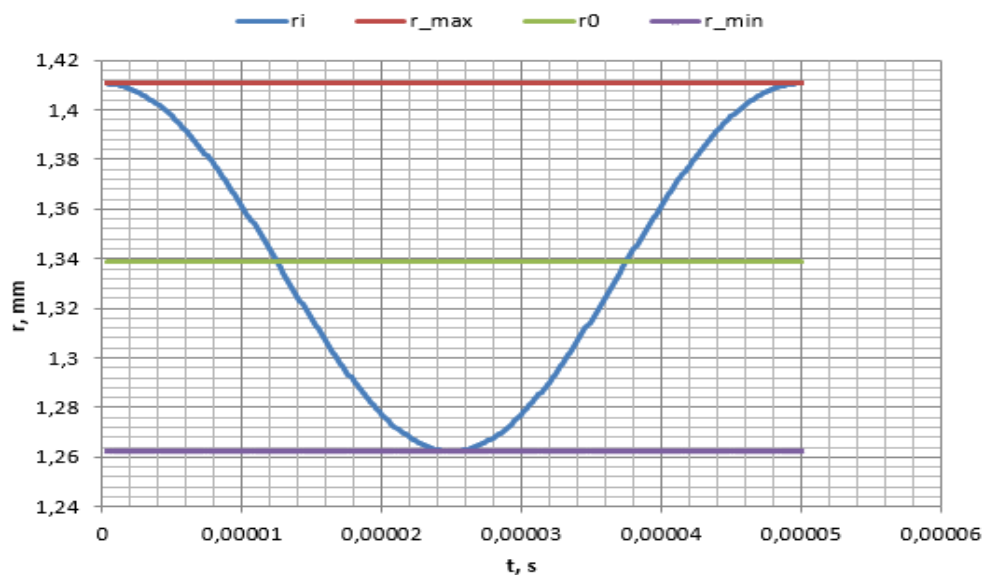
XOZ հարթության մեջ գնդային սեգմենտի հիմքի շառավղի առավելագույն փոփոխություն առկա է գերձայնային տատանման յուրաքանչյուր կիսատևողության ընթացքում, երբ շառավղային տատանման ընթացիկ ամպլիտուդը փոփոխվում է A_y ից $-A_y$, որի արդյունքում ինդենտորը տեղափոխվում է $2A_y$ մեծությամբ: Դրա հետևանքով, ինչպես ցույց են տալիս հաշվարկները, գնդային սեգմենտի հիմքի շառավղի փոփոխությունը տատանման պարբերության յուրաքանչյուր կիսատևողության ընթացքում մի քանի անգամ մեծ է, քան շառավղային գերձայնային տատանման կրկնակի ամպլիտուդը:

Նկ.2.3-ում բերված է ինդենտորի ներխրման չափի h փոփոխությունը ըստ ժամանակի, գրաֆիկում բերված է նաև ներխրման առավելագույն և նվազագույն արժեքները:



Նկ. 2.3. Շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ինդենտորի ներխրման չափի փոփոխությունը $h=f(t)$

Նկ. 2. 4-ում բերված է ինդենտորի ներխրման չափի h_i փոփոխության հետևանքով շառավղի r_i փոփոխությունը ըստ ժամանակի, գրաֆիկում բերված են նաև շառավղի փոփոխման առավելագույն և նվազագույն արժեքները:



Նկ. 2.4. Շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում շառավղի չափի փոփոխությունը $r=f(t)$

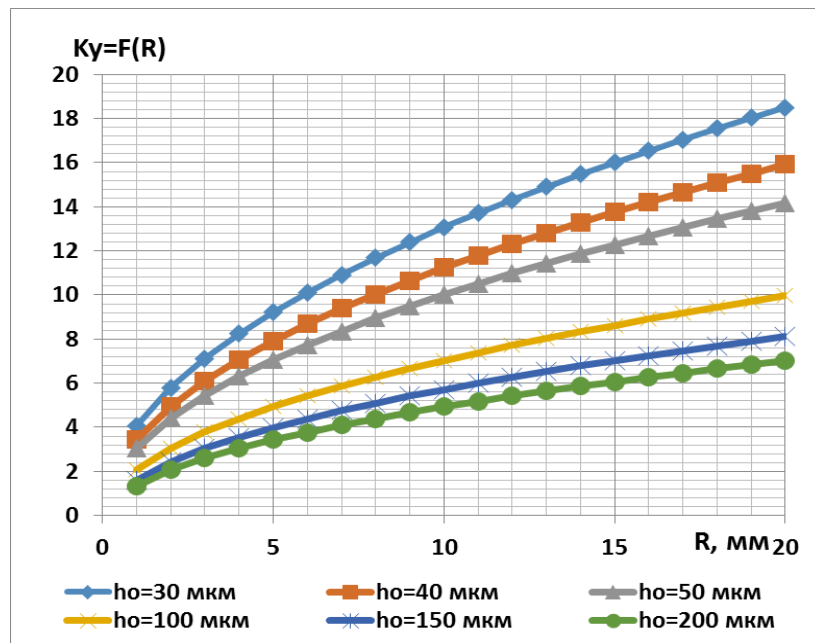
Օրինակ, ինդենտորի սֆերիկ մասի շառավիղը $R=10$ մմ, շառավղային գերձայնային տատանման կրկնակի ամպլիտուդը $2A_r=20$ մկմ, գնդային սեգմենտի հիմքի շառավղի փոփոխությունը տատանման պարբերության յուրքանջուր կիսատևողության ընթացքում կազմում է $\Delta r=148$ մկմ, որը 7,4 անգամ ավել է քան գերձայնային տատանման կրկնակի ամպլիտուդը: Կարելի է ասել, որ շառավղային ԳՁՏ

ազդեցության տակ XOZ հարթությանը զուգահեռ հարթություններում առաջանում են «թվացող» լայնական, ուժեղացված ամպլիտուդով գերձայնային տատանումներ:

Լայնական գերձայնային տատանումների ուժեղացման մեծությունը K_y կարելի է որոշել որպես Δr և $2A_y$ հարաբերություն:

$$K_y = \frac{\Delta r}{2A_y} = \frac{\sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} + \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2}}{2A_y} \quad (2.10)$$

(2.10) արտահայտության հիման վրա մշակվել է շառավղային ԳՁՏ լայնականի փոխակերպման K_y գործակցի կախումը սֆերիկ մասի շառավղից $K_y=f(r)$ ներխրման տարբեր խորությունների դեպքում, որոնք բերված են նկ.2.5-ում: Նկ.2.5-ից երևում է, որ ինդենտորի շառավղի մեծացումը 1...20մմ, $h_0 = 30$ մկմ դեպքում K_y մեծանում է 4...18,3 անգամ, իսկ $h_0 = 200$ մկմ K_y մեծանում է 1.3...7 անգամ:



Նկ. 2.5. Շառավղային ԳՁՏ լայնականի փոխակերպման K_y գործակցի կախումը սֆերիկ մասի շառավղից $K_y=f(r)$ ներխրման տարբեր խորությունների դեպքում

Ընդունենք, որ ինդենտորի գերձայնային տատանման պարբերության առաջին 0,5T կիսատևողության ընթացքում կոորդինատական համակարգի XOZ հարթության մեջ ի հաշիվ գնդային սեգմենտի հիմքի շառավղի փոքրացմանը ինդենտորի շառավղը փոքրանում է Δr -ով: Այդ նույն ժամանակի ընթացքում C կետի տեղափոխությունը, որը պայմանավորված է դետալի հարաբերական շարժման արագությամբ ինդենտորի նկատմամբ, կլինի $\Delta L_C = 0.5V_{\text{dem}}T$: Արդյունքում դետալի C կետի տեղափոխությունը

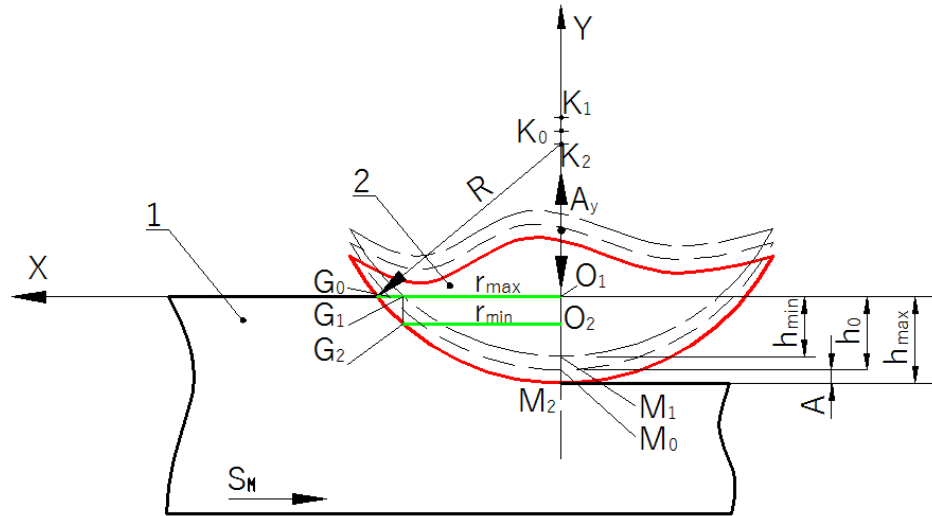
զնդային սեգմենտի մակերևույթի նկատմամբ կոորդինատական համակարգի XOZ հարթությունում OZ առանցքի ուղղությամբ կլինի.

$$\Delta L_z = \Delta L_C - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} = 0,5V_{\partial em} T - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} \quad (2.11)$$

Նման դատողություններով կարելի է ստանալ G (նկ. 2.5) կետի տեղափոխությունը զնդային սեգմենտի մակերևույթի նկատմամբ կոորդինատական համակարգի XOZ հարթությունում OX առանցքի ուղղությամբ:

$$\Delta L_x = \Delta L_C - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} = 0,5S_{\min} T - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} \quad (2.12)$$

Ակնհայտ է, որ ΔL_z և ΔL_x մեծությունների նշանից է կախված հպման առկայությունը կամ բացակայությունը ինդենտորի և մշակվող դետալի միջև. երբ $\Delta L_z \geq 0, \Delta L_x \geq 0$ այդ հպումները առկա են, իսկ $\Delta L_z < 0, \Delta L_x < 0$ պայմանի դեպքում առաջանում է բացակ ինդենտորի և մշակվող դետալի միջև:



Նկ. 2.6. Շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում կողային մասերի հպումային երևույթի ուսումնասիրման սխեմա

Այսպիսով, շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում կարելի է ստանալ պայման, որի դեպքում ինդենտորի առջևի և կողային մակերևույթները ամբողջությամբ դուրս են գալիս հպումից

$$0,5V_{\partial em} T - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} < 0 \quad (2.13)$$

$$0,5S_{\min} T - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A_y))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A_y))^2} < 0 \quad (2.14)$$

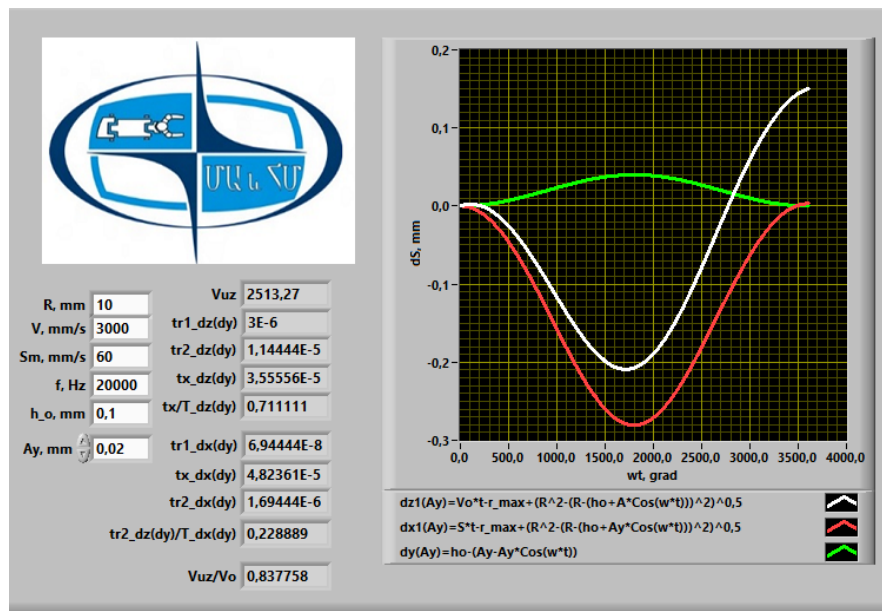
Ստացված անհավասարումները ճշգրիտ լուծում չունեն և այդ պատճառով ինդենտորի պարապ ընթացքի ժամանակի որոշման համար օգտագործվել է թվային մեթոդներ և ծրագրային ապահովում:

Քանի որ տեսականորեն հիմնավորված է, որ բացակ առաջանում է միայն որոշակի պայմանի դեպքում և որոշակի տևողությամբ, հետևաբար անհրաժեշտ է շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթաց իրականացնելիս ունենալ բացակի պայմանի ստուգման և բացակի տևողության որոշման ավտոմատացված մեթոդ, որը թույլ կտա ընտրել մշակման այնպիսի ռեժիմներ, որոնց դեպքում կառաջանա բացակ:

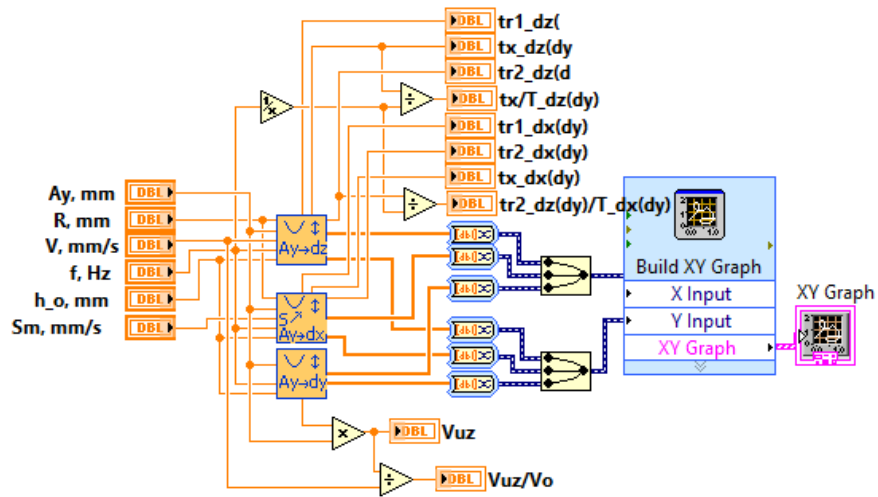
Ստացված տեսական արդյունքների հիման վրա մշակվել է շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ինդենտորի և մշակվող դետալի միջև բացակի առաջացման ժամանակի հաշվարկման ծրագիր LabVIEW-ի միջավայրում [95,122]:

Ծրագիրը մշակվել է այնպես, որ կախված մուտքային պարամետրերից նախ ստուգում է բացակի առաջացման պայմանը, և, եթե առաջանում է բացակ, հաշվարկում է ժամանակի տևողությունը, որի ընթացքում առկա է բացակը:

Ծրագիրը բաղկացած է դիմային վահանակից և բլոկ-դիագրամայից, որոնք բերված են նկ.2.7.-ում:



ա)



բ)

Նկ. 2.7. Շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում բացակի առաջացման տևողության որոշման ծրագրի ա) դիմային վահանակ; բ) բլոկ-դիագրամա

Ծրագիրը բաղկացած է երեք ենթածրագրերից: Մուտքային պարամետրերն են տատանման ամպլիտուդը A_y մմ, ինդենտորի սֆերիկ մասի շառավիղը R մմ, գրտնակման արագությունը V մմ/վ, տատանման հաճախականությունը f Հց, ներխւման խորությունը h_o մմ և մատուցման արագությունը Sm մմ/վ:

Ծրագիրը ելքում տալիս է բացակի մեծությունը X և Z առանցքներով և կառուցում է դրանց գրաֆիկները: Ծրագիրը հաշվարկում է մեկ պարբերության ընթացքում ինդենտորի աշխատանքային և պարապ ընթացքների տևողությունը:

2.3. Համագոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ գրտնակման գործընթաց

Գերձայնային տատանումները գրտնակման համագոր ուժի ուղղությամբ [6,101] կիրառման դեպքում մակերևույթի միկրոանհարթությունները R_a 6,3-ից իջնում են մինչև 0,1մկմ: Մակերևույթային շերտի ամրությունը, կախված մշակվող նյութի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններից, աճում է մինչև 150%: Հոգնածային ամրությունը աճում է մինչև 200%, իսկ մնացորդային լարումները ձգողից կերպավորվում են սեղմող լարումների:

Այս եղանակով կարելի է մշակել հիդրո և պնևմոզլանների միտցակոթերը, խողովակաշարերի ամրանները, տարբեր նշանակության և չափերի սկավառակների, կցորդիչների, կցաշուրթերի, շարժիչների, հաստոցների ռեդուկտորների, տրանսմիսիաների, կոմպրեսորների, գնդային ծորակների և այլ տիպի մեխանիզմների

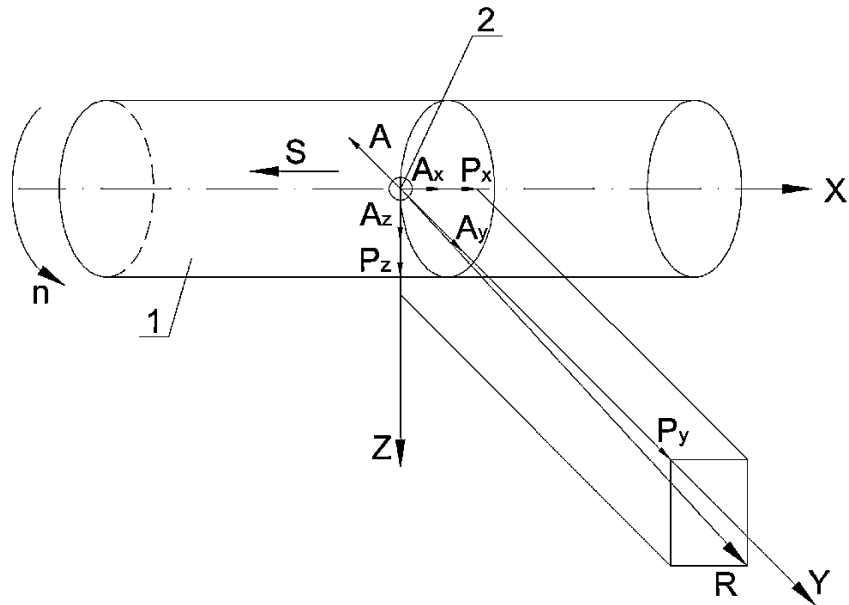
դետալները: Որպես գործիք, եղանակի իրագործելու համար կիրառում են գերձայնային տատանողական համակարգ, որը բաղկացած է գերձայնային մագնիսակծկման կերպավորիչից և խտարարից, որի ճակատին ամրացվում է ինդենտորը: Մշակման ամրացնող գործընթացում գործիքը սեղմվում է մշակվող մակերևույթին: Հայտնի եղանակի թերությունն է, որ մշակման ընթացքում, դեֆորմացնող տարրի և մշակվող մակերևույթի միջև առաջանում է գերձայնային տատանումների հաճախությամբ պարբերական հպում, որի ընթացքում ակնթարթային լարումները զգալիորեն մեծ են միջին արժեքներից, որն էլ առաջացնում է զգալի պլաստիկ դեֆորմացիա: Ինչպես և մակերևույթային դեֆորմացման այլ մեթոդների դեպքում, մշակման արդյունքում փոքրանում է մակերևույթի խորդուբորդությունները: Որպես քսուքահովացնող տեխնոլոգիական միջավայր, մակերևույթների պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացներում օգտագործում են սուլֆաֆրեզոլ կամ մեքենայական յուղ:

Էությունը այն է, որ մեքենամասերի բանվորական մակերևույթների ամրացման գործընթացն իրականացնում են այդ մակերևույթի հարթեցմամբ՝ գրտնակվող նյութից ավելի բարձր կարծրությամբ ինդենտորի կիրառմամբ, մեքենամասին հաղորդում են պտտական շարժում, գրտնակիչի և մեքենամասի հպման մակերևույթների միջև ստեղծում են որոշակի մեծությամբ ստատիկ ուժ, գրտնակիչին հաղորդում են մատուցում մշակվող մեքենամասի առանցքի ուղղությամբ ու նրան հաղորդում են գերձայնային տատանումներ, եղանակի համաձայն, ինդենտորին հաղորդում են տարածական գերձայնային տատանումներ, իսկ նրա ուղղությունը ընտրում են գրտնակման գործընթացի համազոր ուժի ուղղությամբ:

Եղանակը իրականացնում են հետևյալ կերպ՝ գրտնակման P_z և P_x բաղադրիչները կազմում են P_y -ի 0,05...0,1 մասը, կարելի է ենթադրել, որ գրտնակիչը տեղադրելով Z և X առանցքների նկատմամբ $2,8^\circ \dots 5,7^\circ$ աստիճանի տակ, որի հետևանքով նրա գնդիկի Az ու Ax տատանման ամպլիտուդները հավասար կլինեն 0,05...0,1 A_y . Եթե ընդունենք $A_y = 25$ մկմ, ապա $A_z = A_x = 1,25 \dots 2,5$ մկմ, որը համաչափ է մեքենամասի ելակետային խորդուբորդությունների մեծության հետ: Ուստի, գրտնակման գործընթացում կիրականացվի մեքենամասի խորդուբորդությունների լրացուցիչ հարթեցում Z և X առանցքների ուղղությամբ գերձայնային տատանումների

A_z և A_x բաղադրիչների ազդեցությամբ, որի հետևանքով գրտնակված մակերևույթների խորդուբորդությունները ավելի մեծ չափով կնվազեն:

Եղանակի կիրառումը հնարավորություն է տալիս նվազեցնել մեքենամասերի ամրացվող մակերևույթների խորդուբորդությունները մինչև 2 անգամ, նպաստում է գրտնակման ուժի նվազմանը 3...4 անգամ, որը պայմանավորված է գրտնակման ստատիկ ուժի տարածական բնությամբ:



Նկ. 2. 8. Ուժի համագործի ուղղությամբ $\Phi 2S$ գրտնակման գործընթացի սկզբունքային սխեմա

2.3.1. Տարածական $\Phi 2S$ կիրառմամբ գրտնակման գործընթացի կինեմատիկայի տեսական հետազոտություն

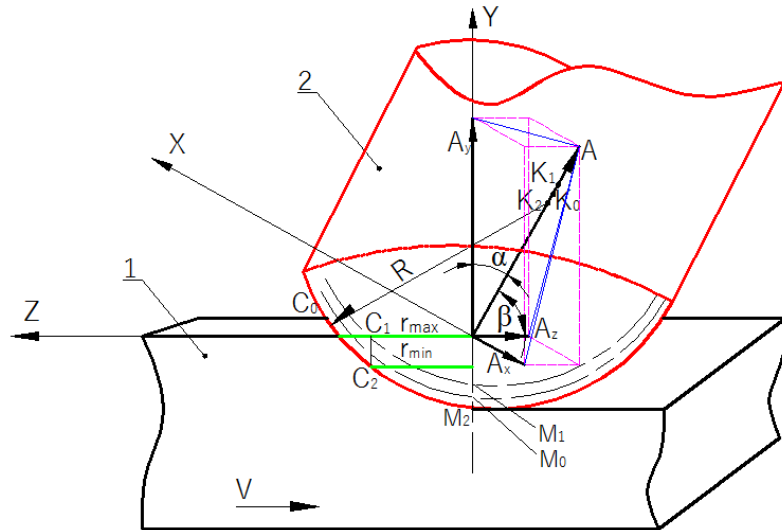
Տարածական գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման գործընթացի սկզբունքային սխեման բերված է նկ.2.8-ում, այս դեպքում տատանումները հաղորդվում են ուժի համագործի ուղղությամբ: Տատանման ամպլիտուդի A_y, A_z և A_x բաղադրիչները ուղղված են համապատասխանաբար Y, Z և X առանցքներով և կազմում են α, β և γ անկյուններ: Այս դեպքում տատանման ամպլիտուդի համապատասխան բաղադրիչները A_y, A_z և A_x կարելի է որոշել հետևյալ ձևով.

$$A_y = A \cos \alpha, A_z = A \cos \beta \text{ և } A_x = A \cos \gamma. \quad (2.15)$$

Այս դեպքում դետալի C կետի հարաբերական տեղափոխությունը ինդենտորի սֆերիկ մակերևույթի գնդային սեգմենտի նկատմամբ կոորդինատական համակարգի

XOZ հարթությունում տատանման ամպլիտուդի շառավղային բաղադրիչից կորոշվի (2.11) արտահայտությամբ, հաշվի առնելով, որ Z առանցքի ուղղությամբ ինդենտորի բոլոր կետերը տեղափոխվում են լրացուցիչ $dZ = A \cos \beta (1 - \cos \omega t)$ մեծությամբ.

որտեղ $\omega = 2\pi f$ գերձայնային տատանման անկյունային հաճախությունն է $-1/\lambda$, f -ը գերձայնային տատանման հաճախականությունն է – Հց:

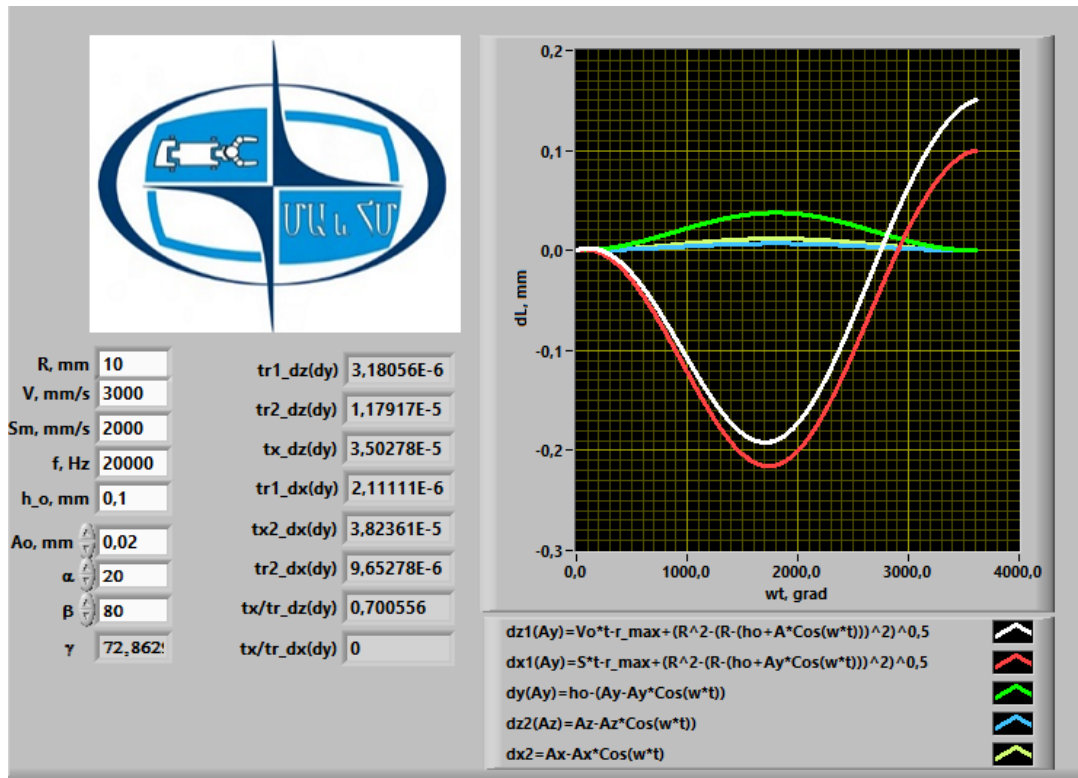


Նկ. 2.9. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում առջևի մասի հպումային երևույթի ուսումնասիրման սխեմա

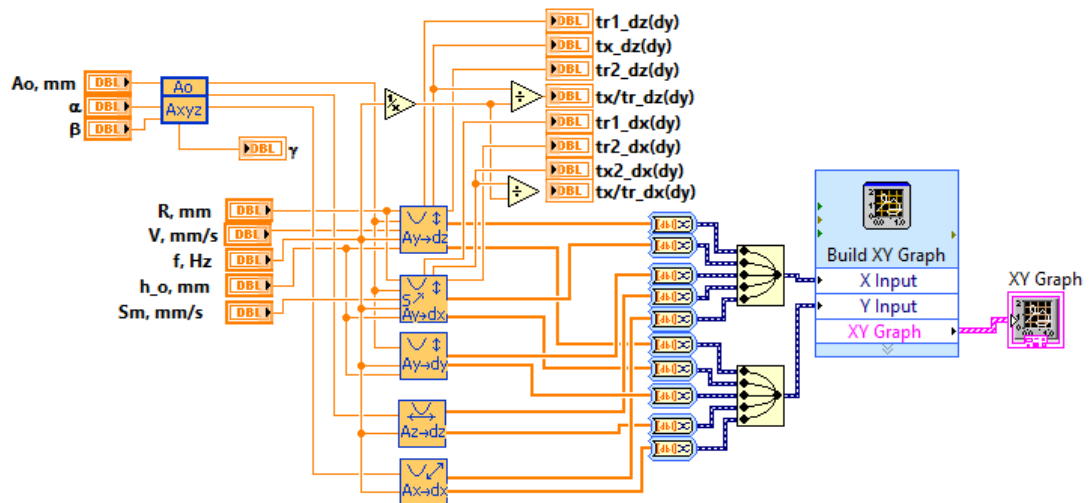
Գերձայնային տատանման պարբերության առաջին կիսաստուղղության վերջում Z առանցքի ուղղությամբ ինդենտորի լրացուցիչ տեղափոխությունը կլինի $dZ = 2A \cos \beta$: Հետևաբար, շառավղային ԳՁՏ գրտնակման համար ստացված (2.11) արտահայտությունը և հաշվի առնելով նաև Z առանցքի ուղղությամբ ինդենտորի լրացուցիչ տեղափոխությունը կարելի է որոշել C կետի հարաբերական տեղափոխությունը ինդենտորի սֆերիկ մակերևույթի գնդային սեգմենտի նկատմամբ կոորդինատական համակարգի XOZ հարթությունում:

$$\Delta L_z = 0.5V_{dem}T - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 + A \cos \alpha))^2} - \sqrt{R^2 - (R - (h_0 - A \cos \alpha))^2} - 2A \cos \beta \quad (2.16)$$

ավելի մեծ է, քան շառավղային գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման դեպքում:



ա)



բ)

Նկ. 2.11. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում բացակի առաջացման տևողության որոշման ծրագրի ա) դիմային վահանակ; բ) բլոկ-դիագրամա

Ծրագիրը բաղկացած է հինգ ենթածրագրերից: Մուտքային պարամետրերն են տատանման ամպլիտուդը A_o մմ, ինդենտորի թեքման α , β անկյունները, ինդենտորի սֆերիկ մասի շառավիղը R մմ, գրտնակման արագությունը V մմ/վ, տատանման

հաճախականությունը f Հց, ներխրման խորությունը h_o մմ և մատուցման արագությունը Sm մմ/վ:

Ծրագիրը հաշվարկում է տատանման ամպլիտուդի A_y, A_z և A_x բաղադրիչները և ստացված տեսական արտահայտությունների հիման վրա հաշվարկում է բացակի մեծությունը X և Z առանցքներով և կառուցում է դրանց գրաֆիկները: Ծրագիրը հաշվարկում է մեկ պարբերության ընթացքում ինդենտորի աշխատանքային և պարապ ընթացքների տևողությունը:

2.3.2. Մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների հաշվարկը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում

Մեքենամասի շահագործական ցուցանիշները էականորեն կախված են մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների մեծությունից և փոխադարձ դասավորության բնույթից: Գերձայնային տատանումների կիրառումը գրտնակման գործընթացում հնարավորություն է տալիս ստանալ կարգավորվող պարամետրերով մակերևութային շերտ: Մակերևութային շերտի խորդուբորդությունները կախված են մշակման ռեժիմներից՝ դետալի պտտման արագությունից, մատուցումից, տատանման ամպլիտուդից և հաճախականությունից, գրտնակման ուժից և ինդենտորի սֆերիկ մասի շառավղից: Մշակման ժամանակ ինդենտորը որոշակի P ուժով սեղմվում է դետալին և կատարում է գերձայնային տատանումներ A ամպլիտուդով, որի ընթացքում դեֆորմացնում է որոշակի խորությամբ մակերևութային շերտ և հարթեցնում է ելակետային խորդուբորդությունները:

Դետալի յուրաքանչյուր պտույտից հետո հպման հետքը առանցքային ուղղությամբ տեղաշարժվում է մատուցման (S) չափով, որը պետք է լինի ավելի փոքր քան հպման երկարությունը: Պլաստիկ դեֆորմացման ընթացքում մշակվող մակերևութում տեղի է ունենում ելակետային խորդուբորդությունների հարթեցում և նոր ավելի փոքր խորդուբորդությունների բարձրությամբ մակերևութային շերտի ձևավորում: Ըստ Ա.Վ.Գորբենկոյի [27] գրտնակման ժամանակ խորդուբորդությունների բարձրությունը որոշվում է (2.20) բանաձևով:

$$R_z = h_1 + h_2 + h_3 \quad (2.20)$$

Որտեղ h_1 խորդուբորդությունների պրոֆիլի բաղադրիչն է, որը պայմանավորված է ինդենտորի աշխատանքային մասի ձևով և նրա շարժման

կինեմատիկայով: h_2 բաղադրիչը բնութագրում է մակերևույթային շերտում՝ հպման մասում, պլաստիկ դեֆորմացիան: h_3 բաղադրիչը բնութագրում է ինդենտորի աշխատանքային մասի խորդուբորդությունները:

h_1 բաղադրիչը կախված է մատուցումից և ինդենտորի աշխատանքային մասի շառավղից: h_1 բաղադրիչը ըստ [81,82,88,90] որոշվում է (2.21) բանաձևով:

$$h_1 = \frac{S_0^2}{8r_{\text{ин}}} \quad (2.21)$$

Որտեղ S_0 -ը մատուցումն է (մմ/պտ), $r_{\text{ин}}$ ինդենտորի աշխատանքային մասի շառավիղը (մմ):

(2.21) բանաձևը ճիշտ է առանց գերձայնային տատանումների գրտնակման, շառավղային կամ տանգենցյալ տատանումներով գրտնակման համար: Սակայն, տվյալ դեպքում ուսումնասիրվում է ավելի ընդհանուր դեպք՝ տարածական գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման գործընթաց, որի դեպքում (2.21) բանաձևի մեջ փոփոխվում է մատուցումը, քանի որ մատուցման մեծության վրա ազդում է տարածական գերձայնային տատանումների առանցքային բաղադրիչը: Հաշվի առնելով վերը նշվածը (2.21) բանաձևը կնդունի հետևյալ տեսքը.

$$h_1^{\text{п у з к}} = \frac{(S_0 + A_x \sin(\omega t))^2}{8r_{\text{ин}}} \quad (2.22)$$

Որտեղ $A_x \sin(\omega t)$ -ն տարածական գերձայնային տատանումների ամպլիտուդի առանցքային բաղադրիչի փոփոխական մեծությունն է :

Ըստ Ա.Վ.Գորբենկոյի [27] շառավղային գերձայնային գրտնակման ժամանակ (2.20) արտահայտության h_2 բաղադրիչը որոշվում է որպես ելակետային խորդուբորդությունների բարձրության ($Rz^{\text{и к}}$) և նրա պլաստիկ դեֆորմացման չափի ($h_{\text{пл}}$) տարբերություն, հաշվի առնելով դեֆորմացման բազմակիությունը (Z):

$$h_2 = Rz^{\text{и к}} - Zh_{\text{пл}} \quad (2.23)$$

Z -ը որոշվում է (2.24) արտահայտությամբ:

$$Z = \frac{60f}{V_{\text{дет}} S_0} \quad (2.24)$$

Որտեղ S_0 -ը մատուցումն է (մմ/պտ), f -ը ինդենտորի տատանման հաճախականությունն է (Հց) իսկ $V_{\text{дет}}$ դետալի արագությունն է (մմ/րոպ):

Տարածական գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման դեպքում մատուցման փոփոխությունը արդեն նշվել է իսկ այս դեպքում փոփոխվում է նաև $V_{\text{дет}}$,

քանի որ նրա վրա ազդում է տարածական գերձայնային տատանումների տանգենցյալ բաղադրիչը և (2.24) արտահայտությունը ընդունում է հետևյալ տեսքը

$$Z^{Пызк} = \frac{60f}{(V_{дет} + A_Z \omega \cos(\omega t))(S_0 + A_X \sin(\omega t))} \quad (2.25)$$

Իսկ (2.23) արտահայտության $h_{пл}$ -ը, որը ելակետային խորդուբորդությունների պլաստիկ դեֆորմացիան է և ըստ Ա.Գ.Սուսլովի [90] որոշվում է դետալի և ինդենտորի հպումի փաստացի մակերեսով:

$$F_{\Phi} = F_{ном} \frac{t_m^{иск}}{100} \left(\frac{h_{пл}}{R_p^{иск}} \right)^{\nu^{иск}} \quad (2.26)$$

(2.41) արտահայտությունից որոշենք $h_{пл}$ -ը:

$$h_{пл} = R_p^{иск} \left(\frac{100 F_{\Phi}}{F_{ном} t_m^{иск}} \right)^{1/\nu^{иск}} \quad (2.27)$$

Որտեղ $F_{ном}$ -ը դետալի և ինդենտորի հպումի նոմինալ մակերեսն է և որոշվում է (2.28) արտահայտությամբ:

$$F_{ном} = 2\pi r_{ин} (h_{деф} - h_{упр}) \quad (2.28)$$

Որտեղ $(h_{деф} - h_{упр})$ -ը որոշվում է (2.29) արտահայտությամբ:

$$h_{деф} - h_{упр} = h_{деф} \left(1 - \frac{h_{упр}}{h_{деф}} \right) = h_{деф} (1 - k_{упр}), \quad k_{упр} = 0,2 \dots 0,8 \quad (2.29)$$

Իսկ (2.26) արտահայտության մեջ $t_m^{иск}, R_p^{иск}$ -ն մակերևույթային շերտի խորդուբորդության պարամետրերից են:

(2.26) արտահայտության $\nu^{иск}$ որոշվում է (2.30) արտահայտությամբ:

$$\nu^{иск} = \frac{t_m^{иск} R_p^{иск}}{50 R_a^{иск}} - 1 \quad (2.30)$$

F_{Φ} -ը որոշվում է նաև հետևյալ ձևով (2.31)

$$F_{\Phi} = \frac{1,5(1+f_y^2)^{0,5} p_{сг}}{C'' \sigma_T} \quad (2.31)$$

C'' գործակից է, որը ըստ Ա.Գ.Սուսլովի, Ա. Ա. Շապարինի [90,113] որոշվում է մշակվող նյութի մակերևույթային շերտի միկրոկարծրության ($H_{\mu}^{пос}$) և նյութի ելակետային միկրոկարծրության ($H_{\mu}^{иск}$) հարաբերությամբ:

$$C'' = 4,76 \frac{H_{\mu}^{пос}}{H_{\mu}^{иск}} \quad (2.32)$$

f_y -ը դետալի և ինդենտորի շփման գործակիցն է գերձայնային տատանումների պայմաններում և որոշվում է (2.33) արտահայտությամբ

$$f_y = f_0(1 - k_{y3}\sin(\omega t)) \quad (2.33)$$

f_0 -ն դետալի և ինդենտորի շփման գործակիցն է, իսկ k_{y3} -ն գործակից է, որը հաշվի է առնում գերձայնի ազդեցության պայմաններում շփման գործակցի փոփոխությունը ($k_{y3} = 0,5 \dots 0,7$):

Գերձայնային տատանումների պայմաններում (2.31) արտահայտության մեջ կփոփոխվի $P_{\text{ст}}$ -ը, քանի որ առաջանում է նաև ուժի դինամիկ բաղադրիչ և $P_{\text{ст}}$ -ը կփոխարինվի $(P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}})$ -ով:

Ուժի $P_{\text{дин}}$ բաղադրիչը կորոշվի հետևյալ ձևով.

$$P_{\text{дин}} = K A \sin(\omega t) \quad (2.34)$$

Որտեղ K -ն գերձայնային փոխակերպիչի խտարարի կոշտությունն է և որոշվում է հետևյալ ձևով.

$$K = \frac{EF}{L} \quad (2.35)$$

E -ն խտարարի նյութի Յունգի մոդուլն է (ն/մ^2), F -ը խտարարի լայնական հատույթի մակերեսը (մ^2), L -ը խտարարի երկարությունը (մ):

Նշված փոփոխությունները հաշվի առնելով (2.27) արտահայտությունը կնդունի հետևյալ տեսքը.

$$h_{\text{пл}} = R_p \text{иск} \left(\frac{75(1+f_0(1-k_{y3}\sin(\omega t))^2)^{0,5} (P_{\text{ст}}+K A \sin(\omega t))}{\pi r_{\text{ин}} h_{\text{деф}} (1-k_{yпр}) \tau_{\text{м}} \text{иск} C'' \sigma_T} \right)^1 \left(\frac{\tau_{\text{м}} \text{иск} R_p \text{иск}}{50 R_a \text{иск}} - 1 \right) \quad (2.36)$$

Որտեղ $h_{\text{деф}}$ -ն ընդհանուր դեֆորմացիան է, ըստ Ա.Վ.Գորբենկոյի $h_{\text{деф}}$ -ն որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$h_{\text{деф}} = \frac{1}{2} \sqrt{4r_{\text{ин}}^2 - [0,721 \sqrt{2P_{\text{ст}} r_{\text{ин}} (\theta_1 + \theta_2)}]^2} \quad (2.37)$$

Որտեղ $P_{\text{ст}}$ -ը ազդող ստատիկ ուժն է (Ն), իսկ θ_1 և θ_2 համապատասխանաբար դետալի և ինդենտորի նյութի հատկությունները հաշվի առնող գործակիցներ են և որոշվում են հետևյալ ձևով.

$$\theta_1 = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} \quad (2.38) \quad \theta_2 = \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \quad (2.39)$$

Որտեղ μ_1 և μ_2 համապատասխանաբար դետալի և ինդենտորի նյութի Պուասոնի գործակիցներն են իսկ E_1 և E_2 համապատասխանաբար դետալի և ինդենտորի նյութի Յունգի մոդուլներն են (Ն/մ^2):

Նշված փոփոխությունները հաշվի առնելով (2.37) արտահայտությունը կնդունի հետևյալ տեսքը.

$$h_{\text{деф}}^{\text{Пюзк}} = r_{\text{ин}} - \frac{1}{2} \sqrt{4r_{\text{ин}}^2 - [0,721 \sqrt{2(P_{\text{сг}} + K A \sin(\omega t))} r_{\text{ин}} (\theta_1 + \theta_2)]^2} \quad (2.40)$$

Քանի որ (2.20) արտահայտության մեջ h_3 բաղադրիչը պայմանավորված է ինդենտորի աշխատանքային մասի խորդուբորդություններով, ապա կարելի է գրել որ

$$h_3 = R_Z^{\text{инд}} \quad (2.41)$$

Որտեղ $R_Z^{\text{инд}}$ ինդենտորի աշխատանքային մասի խորդուբորդությունների բարձրությունն է:

Ստացված արտահայտությունները տեղադրելով (2.20)-ի մեջ կստանանք տարածական գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման դեպքում խորդուբորդությունների բարձրությունը:

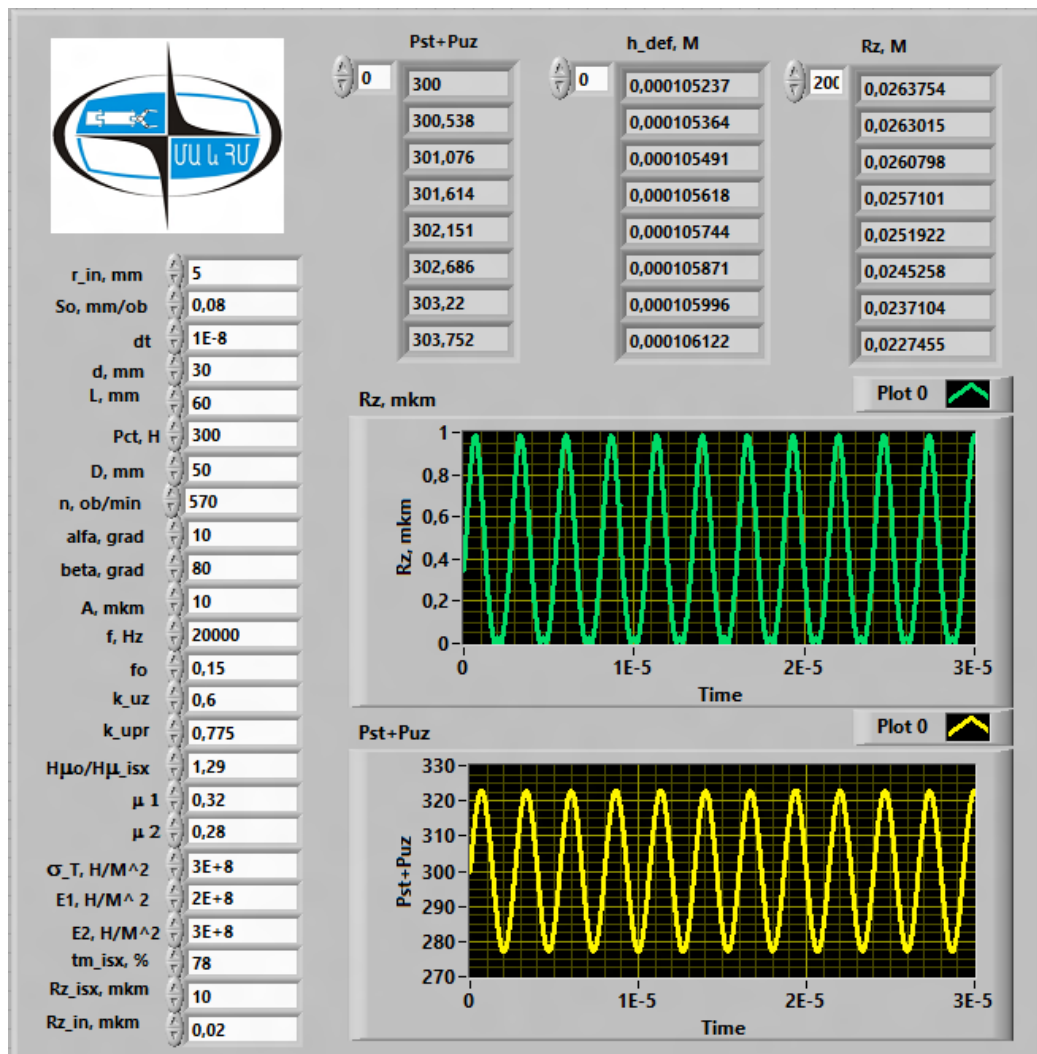
$$R_Z^{\text{Пюзк}} = \frac{(S_0 + A_X \sin(\omega t))^2}{8r_{\text{ин}}} + R_Z^{\text{иск}} - \left(\frac{60f}{(V_{\text{дет}} + A_Z \omega \cos(\omega t))(S + A_X \sin(\omega t))} \right) * \\ * \left(R_P^{\text{иск}} \left(\frac{75(1 + f_0(1 - k_{y3} \sin(\omega t))^2)^{0,5} (P_{\text{сг}} + K A \sin(\omega t))}{\pi r_{\text{ин}} h_{\text{деф}} (1 - k_{y\text{пр}}) t_m^{\text{иск}} C'' \sigma_T} \right)^1 / \left(\frac{t_m^{\text{иск}} R_P^{\text{иск}}}{50 R_d^{\text{иск}}} - 1 \right) \right) + R_Z^{\text{ин}} \quad (2.42)$$

2.3.3. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների հաշվարկման ծրագրի մշակում

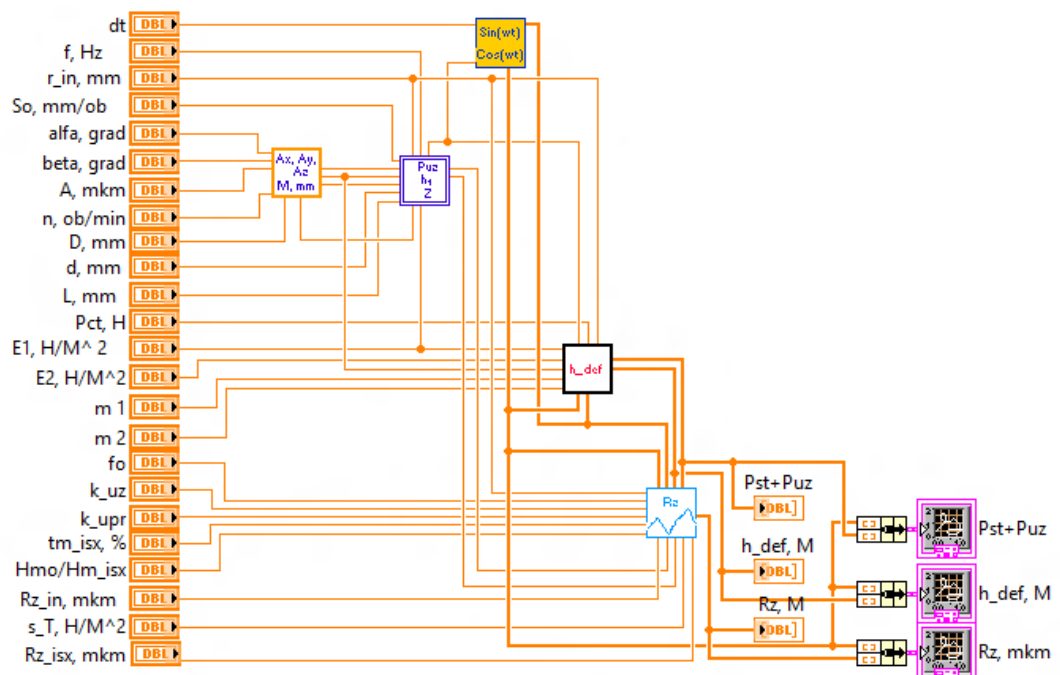
LabVIEW-ի միջավայրում

Ստացված տեսական արդյունքների հիման վրա մշակվել է R_Z -ի հաշվարկման ծրագիր LabVIEW-ի միջավայրում: Ծրագիրը մշակվել է այնպես, որ կախված մուտքային պարամետրերից հաշվարկվում է R_Z -ը:

Ծրագիրը բաղկացած է դիմային վահանակից և բլոկ-դիագրամայից, որոնք բերված են նկ.2.12.-ում:



u)



բ)

Նկ.2.12. Մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների հաշվարկման ծրագրի ա) դիմային վահանակ; բ) բլոկ-դիագրամա

Ինդենտորի պարամետրերից մուտքային են ինդենտորի շառավիղը՝ r ind(մմ), ինդենտորի աշխատանքային մասի խորդուբորդությունների բարձրությունը՝ $Rz_ind(մկմ)$, ինդենտորի նյութի Պուլասոնի գործակիցը՝ μ_2 և նյութի Յունգի մոդուլը՝ E_2 (Ն/մ²): Մշակվող դետալի պարամետրերից մուտքային են դետալի տրամագիծը՝ D (մմ), մշակվող նյութի Յունգի մոդուլը՝ E_1 (Ն/մ²), մշակվող նյութի Պուլասոնի գործակիցը՝ μ_1 , դետալի ելակետային խորդուբորդությունների բարձրությունը $Rz_isx(մկմ)$ և մշակվող նյութի հոսունության սահմանը՝ σ_T (Ն/մ²): Գերձայնային տատանումների պարամետրերից մուտքային են տատանման ամպլիտուդը՝ $A(մկմ)$ և տատանման հաճախականությունը՝ $f(Հց)$:

Գրունակման ռեժիմներից մուտքային են մատուցումը՝ So (մմ/պտ), դետալի պտուտաթվերը՝ n և ազդող ստատիկ ուժը՝ $Pst(Ն)$: Ծրագիրը բաղկացած է հինգ ենթածրագրերից որոնց նկարագրությունը բերված է ստորև:



Ենթածրագիրը նախատեսված է տատանման ամպլիտուդի A_x, A_y, A_z բաղադրիչների և դետալի պտտման արագության հաշվարկման համար: Տատանման ամպլիտուդի A_x, A_y, A_z բաղադրիչների հաշվարկը իրականացվում է օգտվելով դիմային վահանակում բերված սխեմայից, ընդ որում դրանք արտահայտվում են երեք չափման միավորներով (մկմ, մմ, մ): Տատանման ամպլիտուդի բաղադրիչների հաշվարկման համար մուտքային պարամետրեր են տատանման ամպլիտուդը $A(մկմ)$ ու α և β անկյունները, որոնք որոշում են ինդենտորի դիրքը դետալի նկատմամբ:

Դետալի արագությունը հաշվարկվում է հաշվի առնելով դետալի տրամագիծը $D(մմ)$ և դետալի պտույտների թիվը՝ n : Դետալի արագությունը նույնպես արտահայտվում է երեք չափման միավորներով (մ/վ, մ/րոպ, մմ/րոպ):



Ենթածրագիրը նախատեսված է (4) արտահայտության h_1 -ի որոշման համար և (5) արտահայտության Z արտադրիչի որոշման համար: Քանի որ գերձայնային տատանումների պայմաններում առաջանում է ուժի դինամիկ բաղադրիչ $Puz(Ն)$, որն

անհրաժեշտ է ավելացնել Pst ուժին: Puz-ն նույնպես հաշվարկվում է բերված ենթածրագրի միջոցով:

Մուտքային պարամետրեր են տատանման ամպլիտուդի A_x, A_y, A_z (մ) բաղադրիչները, տատանման հաճախականությունը՝ $f(\text{Հց})$, մատուցումը՝ S_0 (մմ/պտ), ինդենտորի շառավիղը՝ $r_{\text{ind}}(\text{մմ})$, դետալի արագությունը՝ $V_d(\text{մմ/րոպ})$, խտարարի տրամագիծը՝ $d(\text{մմ})$, մշակվող նյութի Յունգի մոդուլը՝ E_1 (Ն/մ^2) և խտարարի երկարությունը՝ $L(\text{մմ})$:



$\sin(\omega t)$ և $\cos(\omega t)$ փոփոխականների որոշման ենթածրագիրն է: Մուտքային պարամետրեր են տատանման ամպլիտուդի անկյունային արագությունը $\omega(1/\text{վ})$ և ժամանակի աճը՝ $dt(\text{վ})$: Ելքային պարամետրերն են $\sin(\omega t)$, $\cos(\omega t)$ և ժամանակը $t(\text{վ})$:



ենթածրագիրը նախատեսված է (10) արտահայտության h_{def} -ի որոշման համար:

Մուտքային պարամետրեր են ինդենտորի շառավիղը՝ $r_{\text{ind}}(\text{մմ})$, ազդող ստատիկ ուժը՝ $Pst(\text{Ն})$, ակուստիկական համակարգի կոշտությունը՝ $K_y(\text{Ն/մ})$, $\sin(\omega t)$ -ն, A_y -ը(մ), μ_1, μ_2, E_1, E_2 :



ենթածրագիրը նախատեսված է (2. 42) արտահայտության R_z -ի որոշման համար:

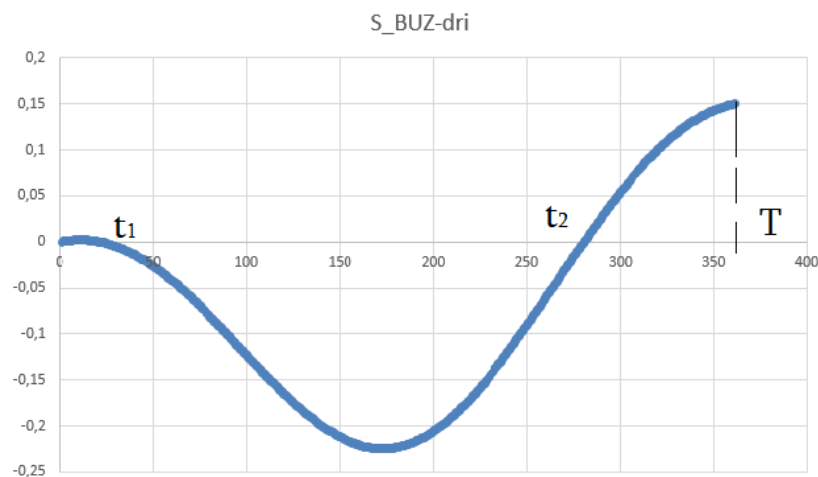
Մուտքային պարամետրեր են՝ դետալի և ինդենտորի շփման գործակիցը f_0 , k_{uz} գործակից է, որը հաշվի է առնում գերձայնի ազդեցության պայմաններում շփման գործակցի փոփոխությունը, $\sin(\omega t)$, $Pst+Puz$, K_{upr} գործակից է, որը հաշվի է առնում դեֆորմացիայից հետո նյութի առաձգական վերականգնումը, H_{m0}/H_{mix} , մշակվող նյութի հոսունության սահմանը՝ σ_T (Ն/մ^2), t_{mix}, R_{piss} և R_{aisx} մակերևութային շերտի խորդուբորդության պարամետրերից են և հաշվարկվում են ելնելով R_{ziss} -ից, ինդենտորի շառավիղը՝ $r_{\text{ind}}(\text{մմ})$, h_{def} -ը, Z -ը, h_1 և t -ն:

2.4. ԳՁՏ գրտնակման կինեմատիկական պարամետրերի ազդեցությունը գրտնակման ուժի վրա

ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի կինեմատիկայի ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ շառավղային և տարածական ԳՁՏ գրտնակման դեպքում ինդենտորը դուրս է գալիս մշակվող դետալի հետ հպումից և առաջանում է բացակ, տեսական

ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին, որ տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի դեպքում այդ բացակի տևողությունը ավելի մեծ է, քան շառավղային ԳՁՏ գրտնակման դեպքում: Քանի որ, երբ ինդենտորը դուրս է գալիս հպումից, ապա ազդող ուժը դառնում է զրո, այսինքն եթե չկա հպում չկա նաև ազդող ուժ: Հետաքրքրական է նաև ուսումնասիրել կինեմատիկական պարամետրերի ազդեցությունը գրտնակման ուժի վրա: Կինեմատիկական պարամետրերից ուսումնասիրվել է գրտնակման և մատուցման արագությունների, տատանման հաճախականության, տատանման ամպլիտուդի, ինդենտորի սֆերիկ մասի շառավղի ազդեցությունը ժամանակի ընթացքում գրտնակման ուժի վրա:

Դիտարկենք նկ. 2.13.-ում բերված ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում բացակի մեծության փոփոխության գրաֆիկը մեկ պարբերության ընթացքում:



Նկ. 2.13. ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում բացակի մեծության փոփոխության գրաֆիկը մեկ պարբերության ընթացքում

ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում բացակի մեծության փոփոխության գրաֆիկից երևում է, որ T պարբերության ընթացքում մինչև t_1 կետը ինդենտորը գտնվում է հպման մեջ և սկսած t_1 -ից դուրս է գալիս հպումից մինչև t_2 և սկսած t_2 -ից նորից ներխրվում է մշակվող դետալի մեջ և ներխրման չափը շարունակում է մեծանալ մինչև պարբերության ավարտը, որից հետո նկարագրված երևույթը կրկնվում է:

Ուժը կարելի է որոշել, եթե հայտնի են գործիքի և դեֆորմացվող մետաղի հպման մակերևույթում լարումների մեծությունը և բաշխման օրենքը: Վերցնենք հպման մակերեսի վրա dS_k տեղամաս: Այդ տեղամասի վրա ազդող տարրական նորմալ ուժը կլինի[7]:

$$dP_H = \sigma_H dS_k \quad (2.43)$$

Եվ կարծրության որոշման հայտնի [30] եղանակների բանաձևերից կարելի է եզրակացնել, որ սֆերիկ մակերևույթով գործիքի պլաստիկ միջավայր ներխրման ժամանակ առաջացող ուժը համեմատական է հպման մակերեսին, այսինքն $P \sim S$ [70,80]:

Մտցնելով համեմատականության k գործակից կարելի է գրել՝

$$P = kS \quad (2.44)$$

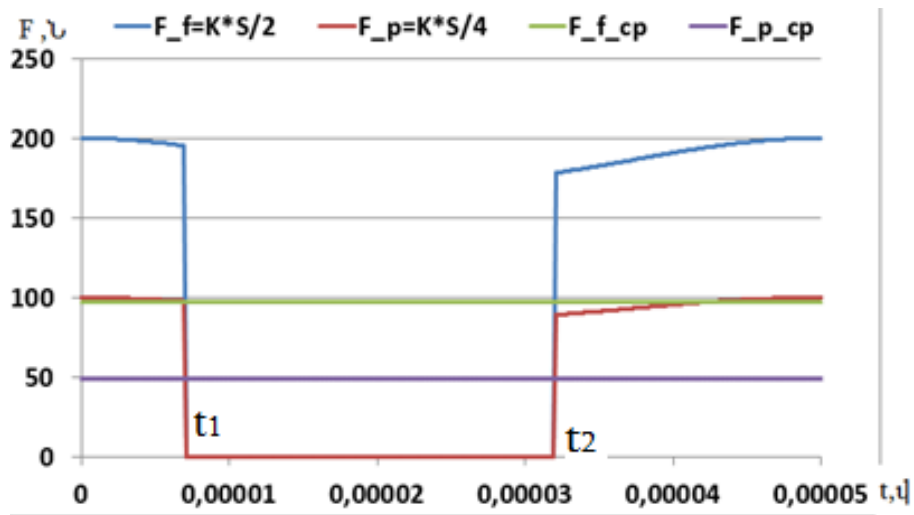
k գործակիցը նյութի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունները հաշվի առնող գործակից է, տվյալ դեպքում k գործակիցը նյութի կարծրությունը բնութագրող մեծություն է: Այսինքն մշակման ժամանակ առաջացող ուժը կախված է հպման մակերեսից: Քանի որ ինդենտորի մշակվող մակերևույթի մեջ ներխրման ժամանակ առաջանում է գնդային սեգմենտ հաշվի առնելով նաև, որ գրտնակման արագության ուղղությամբ շարժվելիս ինդենտորի գնդային սեգմենտի մակերևույթի մակերեսի ետին մասով հպումը բացակայում է, ապա փաստացի կոնտակտի մակերեսը կլինի գնդային սեգմենտի մակերևույթի մակերեսի կեսը

$$S = \frac{\pi(h^2 + r^2)}{2} \quad (2.45)$$

Մատուցման ուղղությամբ շարժվելիս ինդենտորի գնդային սեգմենտի մակերևույթի մակերեսի ետին մասով և կողային մասի կեսով հպումը բացակայում է, ապա փաստացի կոնտակտի մակերեսը կլինի գնդային սեգմենտի մակերևույթի մակերեսի քառորդ մասը

$$S = \frac{\pi(h^2 + r^2)}{4} \quad (2.46)$$

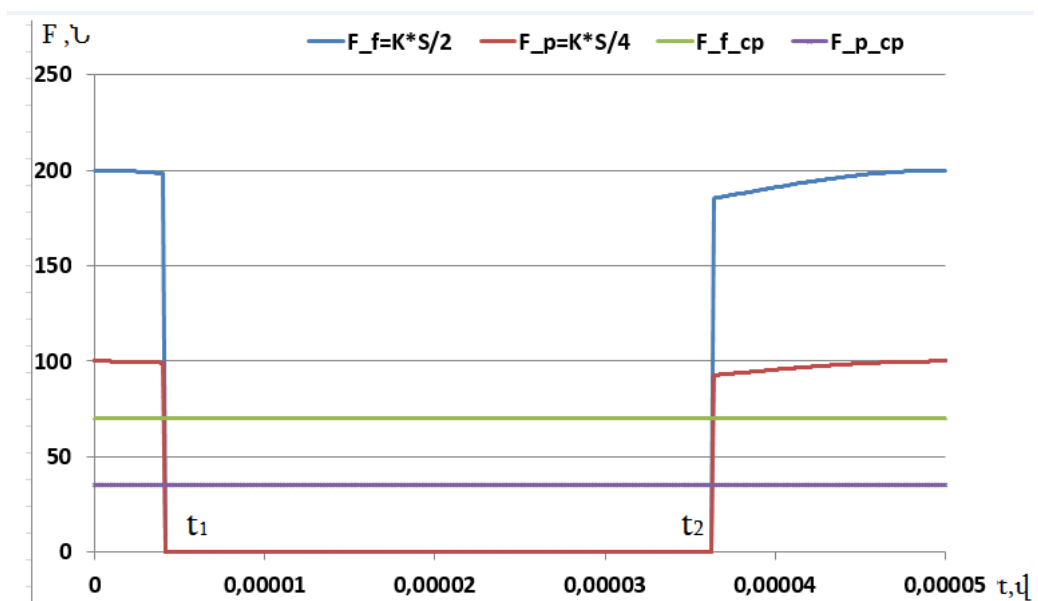
Որպես հավասարաչափ գրտնակման պայման ընտրվել են գրտնակման այնպիսի ռեժիմներ, որոնց դեպքում հպման և բացակի տևողությունները մեկ պարբերության ընթացքում հավասար են: Նշվածը հաշվի առնելով կառուցվել են շառավղային $\Phi 2S$ գրտնակման ուժերի փոփոխության գրաֆիկները կախված մակերեսի փոփոխությունից մեկ պարբերության ընթացքում:



Նկ. 2.14. Շառավղային ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ուժի փոփոխության գրաֆիկը մեկ պարբերության ընթացքում

Նկ. 2.14. շառավղային ԳՁՏ գրտնակման ուժերի փոփոխության գրաֆիկները բերված են գրտնակման արագության $V=1500$ մմ/վ դեպքում:

Համանման դատողություններով կարելի է կառուցել նաև տարածական ԳՁՏ գրտնակման ուժերի փոփոխության գրաֆիկները կախված մակերեսի փոփոխությունից մեկ պարբերության ընթացքում:



Նկ. 2.15. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ուժի փոփոխության գրաֆիկը մեկ պարբերության ընթացքում

Նկ. 2.14 Նկ. 2.15 գրաֆիկների համեմատությունը ցույց է տալիս, որ տարածական ԳՁՏ կիրառմամբ գրտնակման ժամանակ միջին ուժը նվազում է, քանի որ հպման տևողությունը ավելի փոքր է քան շառավղային ԳՁՏ գրտնակման դեպքում:

Համաչափ գրտնակման պայման ապահովելու համար մնացած նույն ռեժիմների դեպքում անհրաժեշտ է մեծացնել գրտնակման արագությունը:

Տարածական ԳՁՏ համաչափ գրտնակման գործընթաց իրականացնելու համար անհրաժեշտ է գրտնակման արագությունը մեծացնել՝ դարձնելով $V=2470$ մմ/վ: Այստեղից կարելի է եզրակացնել, որ տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացը շառավղային ԳՁՏ գրտնակման համեմատ կարելի է իրականացնել ավելի մեծ արագություններով՝ մոտ 1,6 անգամ, ինչը կբերի արտադրողականության աճ:

2.5. Եզրակացություններ

1. Մշակված է գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման նոր եղանակ (ՀՀ թիվ 3006 A արտոնագիր), որը իրականացվում է գրտնակման գործընթացի համազոր ուժի ուղղությամբ ինդենտորի առանցքով ԳՁՏ հաղորդմամբ, շնորհիվ որի գրտնակման գոտում ներմուծվում են շառավղատանգենցյալ-առանցքային ԳՁՏ:
2. Հայտնաբերված է, որ շառավղային և համազոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ-ի կիրառմամբ գրտնակման գործընթացներում, շնորհիվ գրտնակիչի սֆերիկ մակերևույթի ներխրման բարձրության պարբերական ու ԳՁՏ հաճախությամբ փոփոխության, գրտնակման գոտում առաջանում են նույն հաճախությամբ «թվացող» լայնական ու ամպլիտուդով ուժեղացված ԳՁՏ, որոնց տատանման ամպլիտուդը կախված է գրտնակիչի ինդենտորի դեֆորմացնող սֆերիկ մասի շառավղից, մեքենամասի մեջ նրա ներխրման խորությունից, ԳՁՏ-ի ամպլիտուդից և հաճախությունից:
3. Տեսական հետազոտություններով հայտնաբերվել են շառավղային ԳՁՏ-ի և համազոր ուժի ուղղությամբ ինդենտորի առանցքով ԳՁՏ հաղորդմամբ գրտնակման գործընթացների կինեմատիկան առանձնահատկությունները: Հայտնաբերվել է, որ երկու դեպքերում էլ գրտնակման որոշակի ռեժիմներում ու ժամանակահատվածում գրտնակիչի և մշակվող մակերևույթի միջև առաջանում է բացակ, որի մեծությունը և տևողությունը կախված է գրտնակիչի ինդենտորի դեֆորմացնող սֆերիկ մասի շառավղից, մեքենամասի մեջ նրա ներխրման խորությունից, գրտնակման արագությունից, մատուցումից, ԳՁՏ-ի ամպլիտուդից

- և հաճախությունից: Բացակի առկայության ժամանակահատվածի որոշման համար տեսականորեն ստացվել են նրանց հաշվարկման բանաձևերը, որոնք կարող են կառավարող ֆունկցիաներ հանդիսանալ շառավղային ԳՁՏ-ի և համագոր ուժի ուղղությամբ ինդենտորի առանցքով ԳՁՏ հաղորդմամբ գրտնական գործընթացների օպտիմալ պայմանների որոշման համար:
4. Հաստատվել է, որ մնացած հավասար պայմաններում շառավղային ԳՁՏ-ի դեպքում բացակի առաջացման ժամանակահատվածը $1,1...1,8$ անգամ ավելի փոքր է, քան գրտնական համագոր ուժի ուղղությամբ ինդենտորին ԳՁՏ-ի հաղորդման դեպքում: Առաջարկվում է ԳՁՏ գրտնական գործընթացը իրականացնել գրտանկիչի բանվորական և պարապ ընթացքների ժամանակահատվածների հավասարության պայմանից, որը թույլ է տալիս նվազեցնել գրտնական միջին ջերմաստիճանը և ուժը: Մշակվել է ծրագիր LabVIEW-ի միջավայրում այդ ժամանակահատվածների որոշման համար: Ըստ նշված պայմանի հաստատվել է, որ համագոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ-ի գրտնական գործընթացները կարելի է իրականացնել $1,2...1,6$ անգամ ավելի բարձր արագություններով, քան շառավղային ԳՁՏ գրտնակմամբ:
5. Տեսական հետազոտություններով հայտնաբերվել են շառավղային ԳՁՏ-ի և համագոր ուժի ուղղությամբ ինդենտորի առանցքով ԳՁՏ հաղորդմամբ գրտնական գործընթացներում գրտնական ուժի և նրա միջին արժեքի հաշվարկման արտահայտությունները: Գրտնակիչի և մշակվող մակերևույթի միջև բացակի առաջացման ընթացքում նրանք հպման մեջ չեն գտնվում, որի հետևանքով այդ ժամանակահատվածում գրտնական ուժը հավասար է զրոյի, որը նպաստում է գրտնական միջին ուժի փոքրացմանը: Ընդ որում, համագոր ուժը մշտական ուղղված է գրտնակիչի մարմնի մեջ, որը կնպաստի նրա դինամիկական կայունության բարձրացմանը:
6. Տարածական ԳՁՏ գրտնական գործընթացի համար դուրս է բերվել խորդուբորդությունների բարձրության որոշման բանաձև, որի հիման վրա մշակվել է նրանց հաշվարկման ծրագիր LabVIEW-ի միջավայրում, որը կարող է կիրառվել նաև ավանդական գրտնական դեպքում:

ԳԼՈՒԽ 3. ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՄԵԹՈԴԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

3.1. Փորձարարական ԳՁՏ գրտնակման փոխակերպիչներ

Տեխնոլոգիական գործընթացները տատանումներով իրականացնելու համար անհրաժեշտ է ունենալ սարքավորումներ, որոնք առաջացնում են այդ տատանումները: Բարձր հաճախականությամբ տատանումներ ստանալու համար օգտագործվում է մագնիսակծկման կամ պլեզոկերամիկական կերպափոխիչներ: Պլեզոկերամիկական գերձայնային փոխակերպիչներն ապահովում են էներգիայի ավելի բարձր փոխակերպում մագնիսակծկման փոխակերպիչների համեմատ, ցածր հզորությունների դեպքում պարտադիր հովացում չի պահանջում, սակայն նրանց ցածր տեսակարար հզորությունը սահմանափակում է կիրառման ոլորտը: Այդ պատճառով էլ տեխնոլոգիական գործընթացներում ավելի շատ կիրառվում են մագնիսակծկման փոխակերպիչները: Մագնիսակծկման փոխակերպիչների առաջացրած տատանումների ամպլիտուդը մեծ չէ, ամպլիտուդը մեծացնելու համար օգտագործում են խտարարներ, որոնց հիմնական հարթության վրա զոդվում է մագնիսակծկման փաթեթը: Խտարարը և փաթեթը իրար հետ կազմում են ակուստիկական համակարգ: Ակուստիկական համակարգը պատրաստում են հետևյալ ձևով. մագնիսակծկվող ժապավենից դրոշմում են ուղանկյուն թիթեղներ, դրանցից հավաքում են փաթեթ, հղկում են փաթեթի կողային մակերևույթները, մագնիսալարի և խտարարի զոդվող ճակատները ծածկապատում են զոդահեղուկով, այդ ճակատների միջև տեղադրում են մինչև 0,3 մմ հաստությամբ արծաթ պարունակող զոդանյութ և զազայրիչի միջոցով զոդում են մագնիսալարը խտարարի հետ: Ակուստիկական համակարգի աշխատանքի ժամանակ զոդման մասում առաջանում են մեծ ցիկլիկ բեռնվածքներ և լայնական կտրող ուժեր, որոնց հետևանքով փաթեթը անջատվում է խտարարից [1,52,123]:

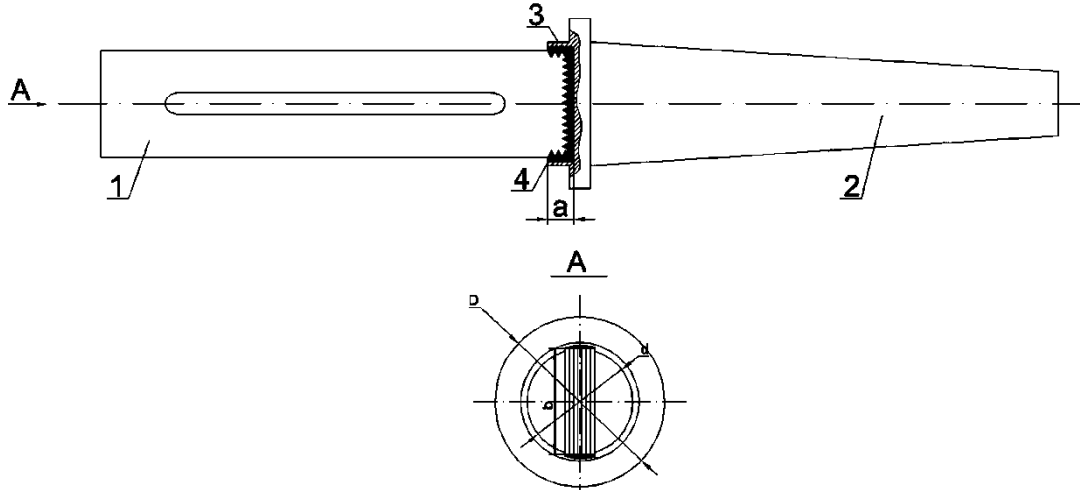
Մշակվել է մագնիսակծկման ԳՁՏ փոխակերպիչի պատրաստման նոր եղանակ (ՀՀ թիվ 3004 A արտոնագիր) [2], ըստ որի մագնիսակծկվող ժապավենից դրոշմում են ուղանկյուն թիթեղներ, դրանցից հավաքում են փաթեթ, հղկում են փաթեթի կողային մակերևույթները, փաթեթի և խտարարի զոդվող ճակատները ծածկապատում են

գողահեղուկով, այդ ճակատների միջև տեղադրում են մինչև 0,3 մմ հաստությամբ արծաթ պարունակող զոդանյութ և գազայրիչի միջոցով զոդում են փաթեթը խտարարի հետ, ընդ որում զոդումից առաջ փաթեթի ճակատում մշակում են փոսրակներ: Խտարարի ճակատային մասում պատրաստում են 2-3 մմ բարձրությամբ օղակաձև ելուստ, որի ներքին տրամագիծը ընդունում են փաթեթի լայնությունից 2 մմ ավելի փոքր, իսկ արտաքին տրամագիծը՝ փաթեթի լայնությունից 5-6 մմ ավելի մեծ, ելուստի վրա մշակում են փաթեթի հաստությամբ և լայնությունից 2 մմ ավելի մեծ ակոս, մագնիսալարի ճակատի և 2-3 մմ կողային մակերևույթներ վրա պատրաստում են 0,3-0,5 մմ խորությամբ հավասարակողմ եռանկյունաձև կողք-կողքի գտնվող փոսրակներ, փաթեթը տեղադրում այդ օղակաձև ելուստի ակոսի մեջ, որից հետո գազայրիչի միջոցով զոդում են փաթեթը խտարարի հետ:

Նկ.3. 1.-ում պատկերված է գերձայնային կերպափոխիչի ակուստիկական համակարգ որտեղ՝ *h* - հաստությամբ և *b* լայնությամբ փաթեթ (1), խտարար(2), *a* բարձրությամբ, *d*-ներքին տրամագծով, *D*-արտաքին տրամագծով խտարարի ճակատի վրա պատրաստված օղակաձև ելուստ(3), փաթեթի ճակատի և կողային մակերևույթի վրա պատրաստված 0,3-0,5 մմ խորությամբ հավասարակողմ եռանկյունաձև կողք-կողքի գտնվող փոսրակներ(4):

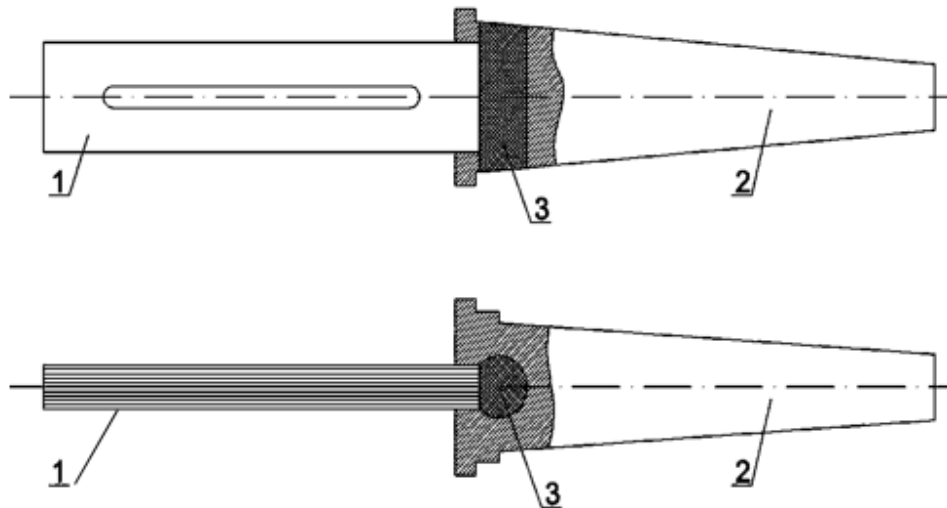
Օղակաձև ելուստի 2-3 մմ մեծությամբ բարձրությունը պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ նման չափերի դեպքում մագնիսալարի մեջ մրրկային հոսանքների աճը նվազագույնն է, որը չնչին է ազդում ակուստիկական համակարգի ՕԳԳ-ի վրա: Այդ ելուստի ներքին տրամագիծը ընտրված է այն պայմանից, որ փաթեթը 1 մմ չափով ընդգրկված լինի օղակաձև ելուստի ակոսով, որը հնարավորություն է ընձեռում փաթեթի համաչափ տեղադրումը խտարարի նկատմամբ: Օղակաձև ելուստի մեջ ակոսի լայնությունը պետք է լինի առնվազն 2 մմ ավելի մեծ, քան փաթեթի լայնությունը, որն անհրաժեշտ է մագնիսալարի կողային մակերևույթի զոդման համար: 0,3-0,5 մմ խորությամբ հավասարակողմ եռանկյունաձև կողք-կողքի գտնվող փոսրակների առկայությունը փաթեթի ճակատի որոշակի խորությամբ նրա կողային մակերևույթների վրա և խտարարի վրա պատրաստված օղակաձև ելուստի շնորհիվ իրականացվում է լայնական կտրող ուժի հակազդեցությունը, որը թույլ է տալիս բարձրացնել ակուստիկական համակարգի միացման ամրությունը ու հուսալիությունը: Այդ

Մրանով բարձրանում է ակուստիկական համակարգի փաթեթի ու խտարարի միացման ամրությունը և հուսալիությունը:



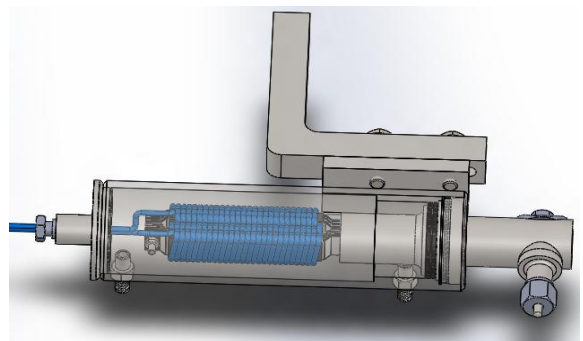
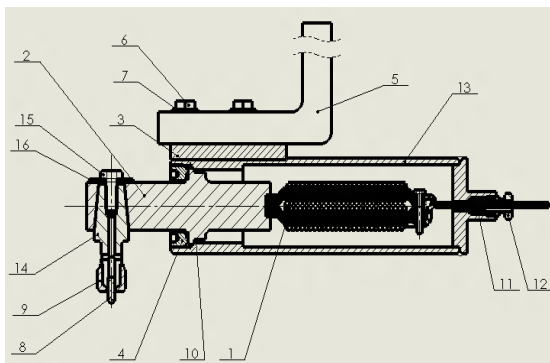
Մշակվել է մագնիսակծկման ԳՁՏ փոխակերպիչի պատրաստման ևս մեկ նոր եղանակ (ՀՀ թիվ 3005 Ա արտոնագիր) [3], ըստ որի փաթեթի լայնության ու համաչափության առանցքի ուղղությամբ խտարարի վրա մշակում են փաթեթի հաստությունից մեծ տրամագծով անցք, խտարարի ճակատի վրա մշակում են նրա առանցքի ուղղությամբ ակոս՝ փաթեթի հաստությանը հավասար լայնությամբ, մինչև նրա հատումը խտարարի մեջ մշակված անցքի հետ, մագնիսալարը տեղադրում են խտարարի մշակված ակոսի մեջ մինչև երևա նրա ճակատը, էլեկտրաեռակցման եղանակով երկու կողմից լցնում են այդ անցքը եռակցվող նյութով, որից հետո վերջնական մշակում են խտարարը ըստ նրա բանվորական գծագրի:

55



Նկ.3.2. Գերձայնային կերպափոխիչի ակուստիկական համակարգ

Քանի որ առանցքային և տանգենցյալ տատանումներով գրտնակման գործընթացը ուսումնասիրված չէ և հետևաբար չկան համապատասխան կոնստրուկցիայի գերձայնային գրտնակիչներ, որոնք թույլ կտան նշված սխեմաներով իրականացնել գրտնակման գործընթաց [5,100,111,112,115]: Նախագծվել է գերձայնային գրտնակիչ, որը թույլ է տալիս հաստոցի կտրիչակալում գրտնակիչի դիրքը փոխելով իրականացնել առանցքային կամ տանգենցյալ տատանումներով գրտնակման գործընթաց:

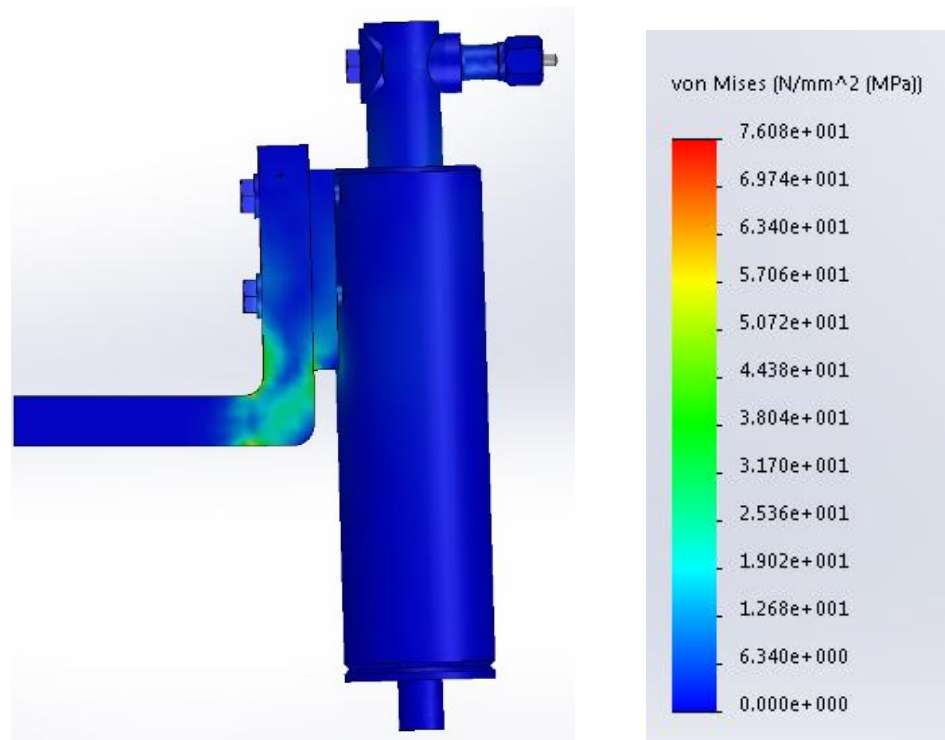


Նկ.3.3. Առանցքային կամ տանգենցյալ տատանումներով գերձայնային գրտնակիչի հավաքական սխեման և մոդելը

Նկ.3.3.-ում բերված է առանցքային կամ տանգենցյալ տատանումներով գերձայնային գրտնակման հավաքական սխեման որտեղ 1-ը տրանսֆորմատորն է, որը զոդված է 2 խտարարին և միասին կազմում են ակուստիկական համակարգ: Ակուստիկական համակարգը 13 իրանի մեջ ամրացված է 4 մանեկի միջոցով: 14-ը նույնպես խտարար է, որը նախատեսված է տատանման ուղղությունը փոխելու համար, խտարարի ճակատային մասում մշակված է անցք, որի միջոցով 8 դեֆորմացնող տարրը

բազայավորվում է և ամրացվում է 9 հատուկ մանեկի միջոցով: Տանգենցյալ տատանումների սխեմայից առանցքային տատանումների սխեմային անցնելու դեպքում առաջանում է դեֆորմացնող տարրի և նախապատրաստվածքի առանցքի անհամապատասխանություն, որի կարգաբերման համար նախատեսված է 3 լիստը: 6 լիստին մանեկի միջոցով ամրացվում է 5 պոչամասը: Պոչամասը նախագծվել է այնպես, որ հնարավոր լինի փորձերն իրականացնել գրտնակիչը տեղակայելով հաստոցի կտրիչակալում կամ օգտագործել STD 201-1 մակնիշի ստենդը:

Գրտնակիչի իրանային մասը նախագծվել է այնպես, որ հնարավոր լինի տրանսֆորմատորը ջրով հովացնել, քանի որ մագնիսակծկման կերպափոխիչները պահանջում են պարտադիր հովացում: Իրանային մասի հերմետիկությունը ապահովվում է 10 ռետինե օղակի և 11 հատուկ մշակված ռետինի միջոցով:

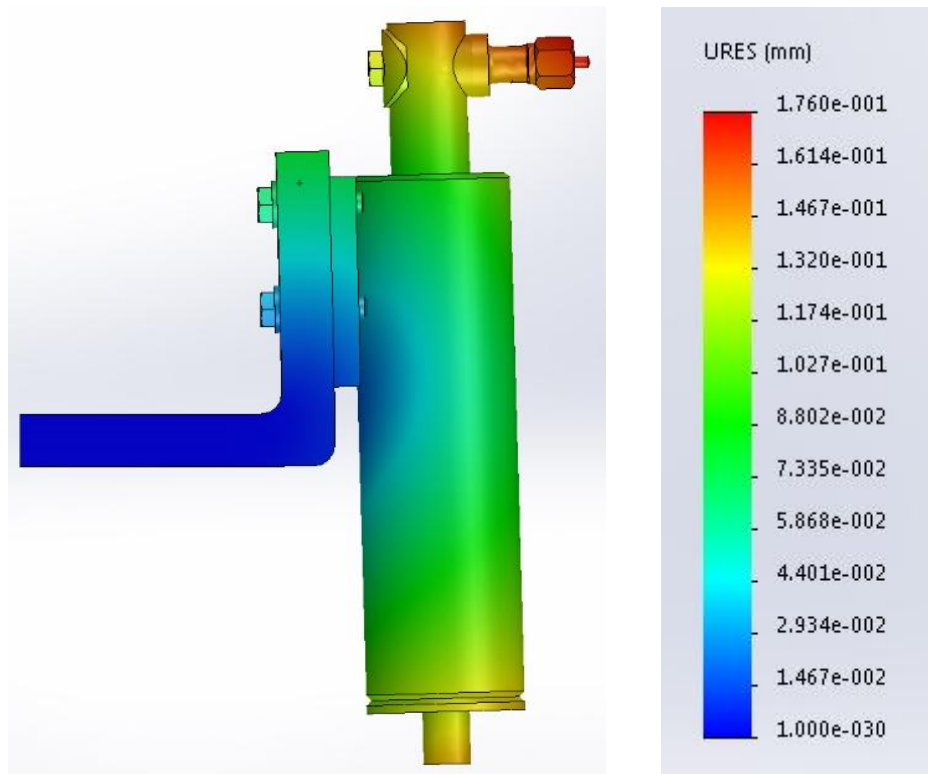


Նկ.3.4. Լարումները առանցքային կամ տանգենցյալ տատանումներով գերձայնային գրտնակիչում 500Ն ուժի դեպքում

Ամրության հաշվարկը իրականացվել է SolidWorks-ի միջավայրում վերջավոր տարրերի մեթոդով [66]: Քանի որ գրտնակիչը ամրացվում է պոչամասով, հաշվարկներում հենարան ընտրվել է պոչամասը՝ որպես կոշտ ամրակցված: Քանի որ մշակման ժամանակ առաջացող ուժը հաղորդվում է անմիջապես դեֆորմացնող տարրին, հաշվարկների ժամանակ ուժը դրվել է դեֆորմացնող տարրի սֆերիկ մակերևույթին՝ նորմալի ուղղությամբ: Հետազոտողների կողմից առաջարկվող

գրտնակման ուժը չի գերազանցում 500Ն, հաշվարկների ժամանակ ուժը ընտրվել է 500Ն:

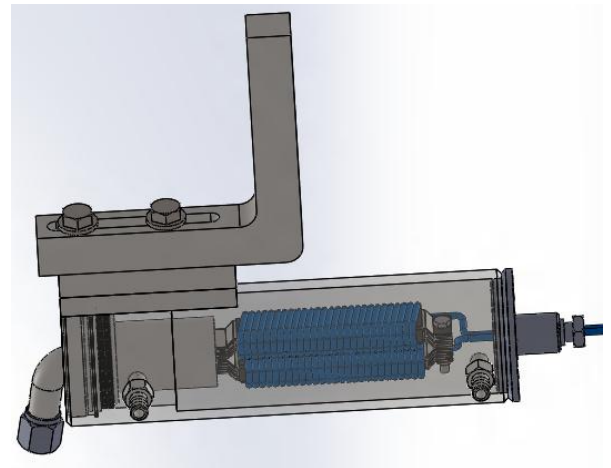
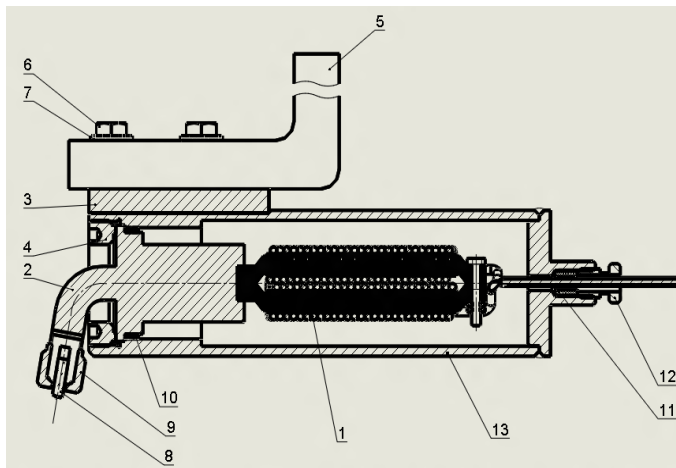
Ինչպես երևում է նկ.3.4. -ից առավելագույն լարումը առաջանում է պոչամասում, իսկ լարումների սանդղակից երևում է, որ առավելագույն լարումը կազմում է մոտ 76ՄՊա: Քանի որ պոչամասը պատրաստված է պողպատ 45-ից, որի հոսունության սահմանը ըստ տեղեկատուների կազմում է մոտ 430ՄՊա հետևաբար ունենք բավականին մեծ ամրության պաշարի գործակից:



Նկ.3.5. Տեղափոխությունները առանցքային կամ տանգենցյալ տատանումներով գերձայնային գրտնակիչում 500Ն ուժի դեպքում

Ինչպես երևում է նկ.3.5. -ից առավելագույն տեղափոխություն կատարում է դեֆորմացնող տարրի զագաթը, իսկ տեղափոխությունների սանդղակից երևում է, որ առավելագույն տեղափոխություն կազմում է մոտ 0,017մմ:

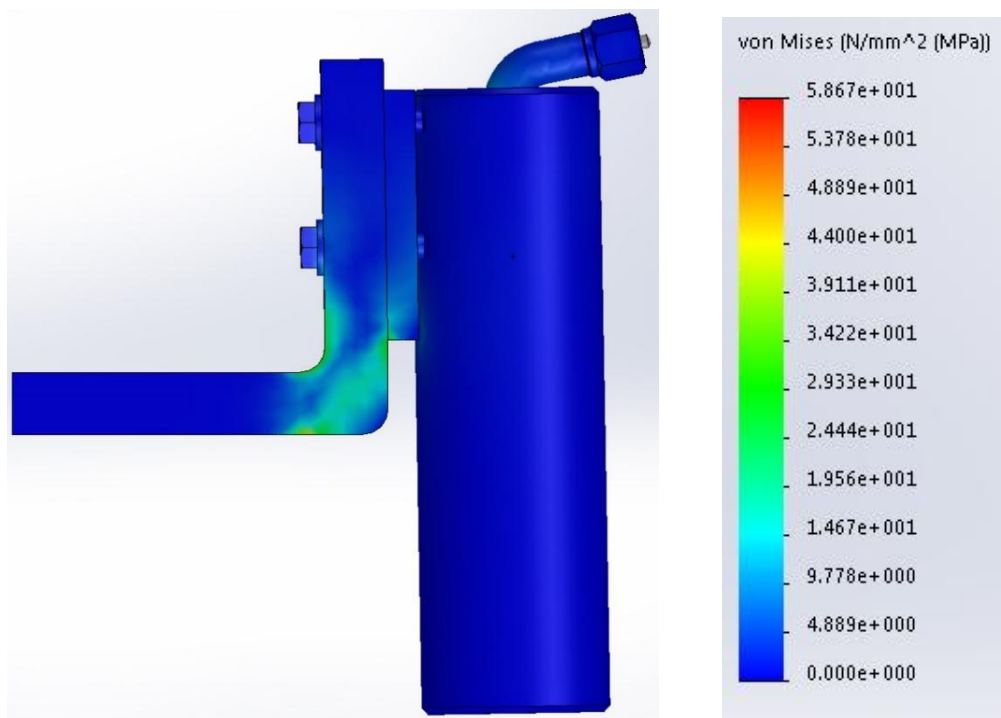
Ուժի համագործի ուղղությամբ գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման համար նախագծվել է գրտնակիչ, որի հավաքական սխեման և մոդելը բերված է նկ.3.6-ում:



Նկ.3.6. Ուժի համագործի ուղղությամբ տատանումներով գերձայնային գրտնակիչի հավաքական սխեման և մոդելը

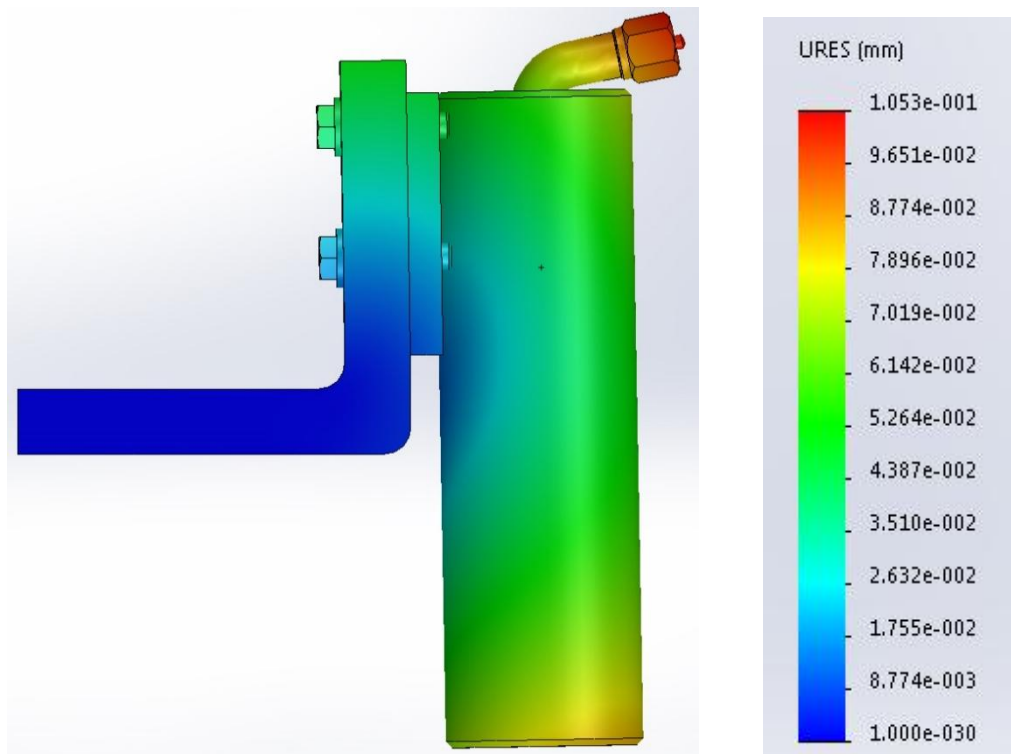
Օգտագործվել է նախորդ գրտնակիչի ողջ իրանային մասը, փոխվում է միայն ակուստիկական համակարգը: Ինչպես երևում է նկ.3.6-ից խտարարը այս դեպքում պատրաստվում է արդեն X առանցքի նկատմամբ համապատասխան անկյան տակ թեքված, իսկ Z առանցքի նկատմամբ թեքման անկյունն ապահովվում է կտրիչակալում գրտնակիչը համապատասխան անկյան տակ տեղակայելով:

Նույն պայմաններով իրականացվել է ամրության հաշվարկ:



Նկ.3.7. Հարումները ուժի համագործի ուղղությամբ տատանումներով գերձայնային գրտնակիչում 500Ն ուժի դեպքում

Առավելագույն լարումը այս դեպքում նույնպես առաջանում է պոչամասում, իսկ լարումների սանդղակից երևում է, որ առավելագույն լարումը նվազում է համեմատաձ նախորդ կոնստրուկցիայի հետ և կազմում է մոտ 58ՄՊա



Նկ.3.8. Տեղափոխությունները ուժի համագործի ուղղությամբ տատանումներով գերձայնային գրտնակիչում 500Ն ուժի դեպքում

Առավելագույն տեղափոխությունը նույնպես նվազում է և կազմում է մոտ 0,01մմ:

3.2. Գրտնակման ստատիկ ուժի ապահովման մեթոդաբանություն

Քանի որ գրտնակման ուժը այն հիմնական պարամետրն է, որն ազդում է մակերևութային շերտի ամրացման աստիճանի և խորության, մակերևութի խորդուբորդությունների, մետաղի մակերևութային շերտերում առաջացող լարումների վրա, այդ պատճառով անհրաժեշտ է մշակման ժամանակ ապահովել ազդող ստատիկ ուժի հաստատուն արժեքներ և կարողանալ մշակման ընթացքում չափել և գրանցել այդ արժեքները մեծ ճշտությամբ: Ազդող ստատիկ ուժը ապահովվում է բեռի միջոցով, դա իրականացվում է հետևյալ կերպ. հաստոցի լայնական սահնակի պտուտակ-մանեկ զույգը անջատվում է և սահնակին ճոպանով ամրացվում է բեռ(նկ.3.9):



Նկ.3. 9. Ստատիկ ուժի ապահովումը գրտնակման ժամանակ

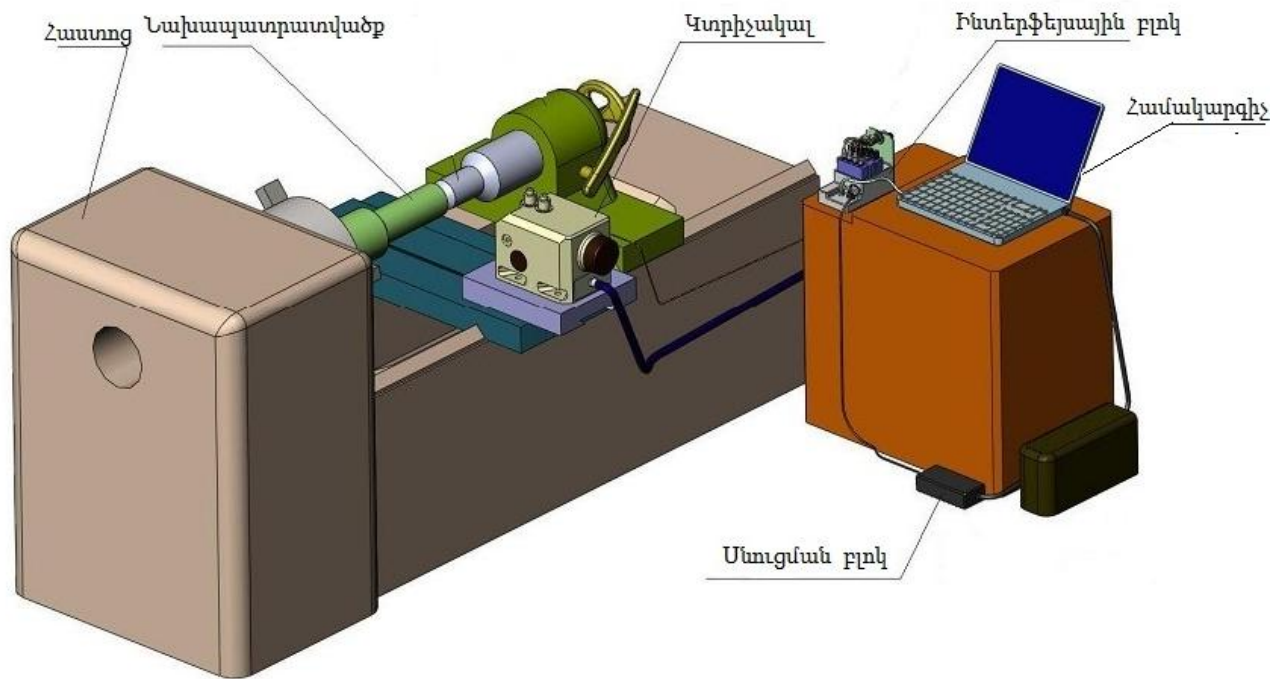
Քանի որ բեռի առաջացրած ուժի մի մասը ծախսվում է շփման ուժերը հաղթահարելու համար հետևաբար փաստացի առաջացող ուժը լինում է ավելի փոքր: Դրանից խուսափելու համար վերցվում է նախնական բեռ, այնքան մինչև սահնակը սկսի շարժվել, բայց այնքան, որ սահնակը արագացում չստանա: Այդ ուժը վերցվում է բազային և ընդունվում է որ այն ծախսվել է շփման ուժերը հաղթահարելու վրա:

3.3. Ուժի համազորի ուղղությամբ գերձայնային տատանումների ապահովման մեթոդաբնություն

Գրտնակման ժամանակ համազոր ուժի ուղղությամբ գերձայնային տատանումներ կիրառելու համար նախ պետք է որոշել համազոր ուժի ուղղությունը: Համազոր ուժի ուղղությունը որոշվում է ըստ համազոր ուժի երեք առանցքներով բաշխման, որը որոշվել է նախնական փորձերի միջոցով:

Նախնական փորձերը իրականացվել են 1K62 խառատա-պտուտակահան հաստոցի վրա, իսկ ուժը չափվել է STD.201-1 [63,69] մակնիշի ուժաչափի միջոցով: Ստենդը բաղկացած է.

- Կտրիչակալից
- Ինտերֆեյսային բլոկից
- Համակարգչից



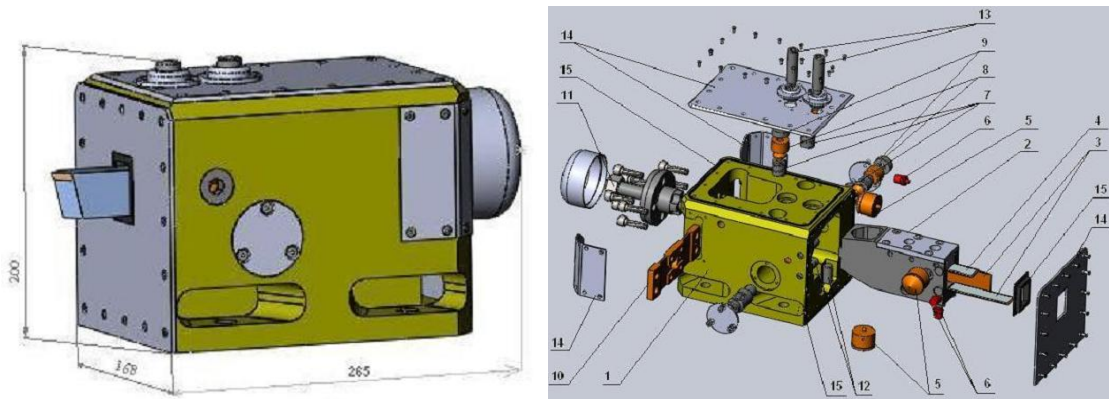
ա)



բ)

Նկ. 3. 10. STD.201-1 մակնիշի ուժաշարի միացման ա) սկզբունքային սխեմա [63] բ) տեղակայանքը

Կտրիչակալը տեղակայվում է հաստոցի սուպորտին: Այն իր մեջ ներառում է թենզոտվիչներ, որոնք գործիքի դինամիկ ազդեցությունները փոխակերպում են էլեկտրական ազդանշանների, որոնք հաղորդվում են ինտերֆեյսային բլոկ:



Նկ.3. 11. Կտրիչակալի արտաքին տեսքը և կառուցվածքը [63]

Կտրիչակալը բաղկացած է հետևյալ հիմնական էլեմենտներից՝ իրան (1), ճոճանակ (2), մեկուսիչ թիթեղներ (3), հանվող մեկուսիչ թիթեղ (4), դինամոմետր (5), թրթռափոխակերպիչ (6), զսպանակ (7), մանեկ (8,9), հարթ զսպանակ (10), կարգաբերող հեղուս (11), ապահովիչ տարեր (12), ամրացնող մանեկներ (13), կափարիչ (14), խտարար (15),

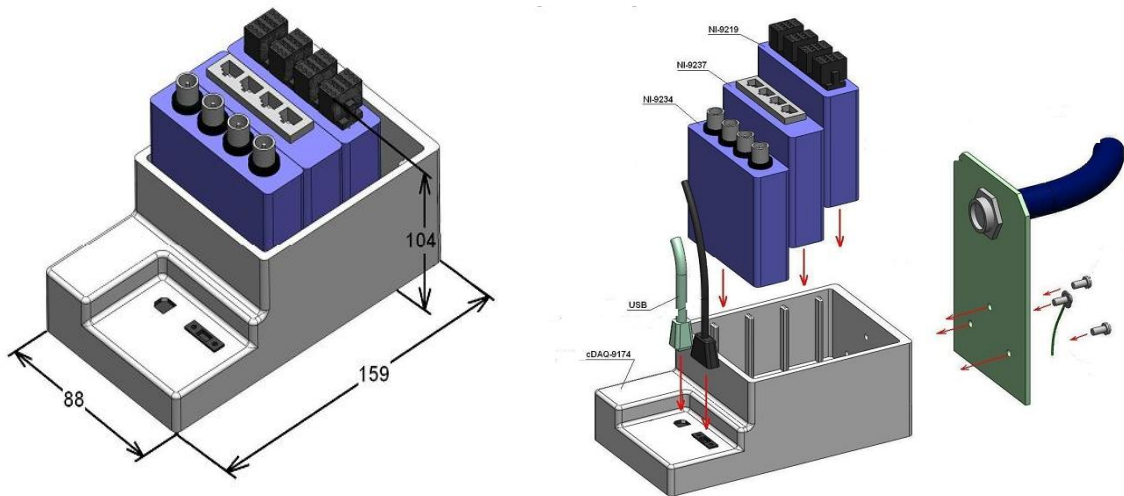
Գործիքը տեղակայվում է 2 ճոճանակի բնույթ, որը 3 և 4 մեկուսիչ թիթեղների միջոցով էլեկտրականապես մեկուսացված է կտրիչակալի 1 իրանից և գործիքը ամրացվում է 13 հեղուսներով: Գործիքի պոչամասը սեղմվում է ներքևի մեկուսիչ թիթեղին, իսկ վերևի փոփոխվող մեկուսիչ թիթեղի վրա նախատեսված է պողպատյա հարթակ, որին սեղմում են ամրացնող հեղուսները:

Մշակման ժամանակ առաջացած ուժերը և տատանումները ճոճանակի միջոցով հաղորդվում են P_x , P_y , P_z դինամոմետրերին և A_x , A_y , A_z թրթռափոխակերպիչներին: P_x և P_z դինամոմետրերը լարվում են 7 զսպանակով 8 և 9 մանեկների միջոցով, իսկ P_y –ը լարվում է 10 զսպանակի միջոցով: Ճոճանակի տեղաշարժը X և Z առանցքների ուղղություններով սահմանափակման համար նախատեսված է ապահովիչ տարեր: Թրթռափոխակերպիչները համապատասխան ուղղություններով կոշտ միացված են ճոճանակին:

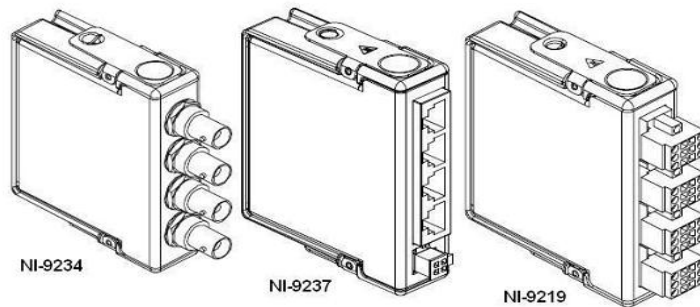
Ինտերֆեյսային բլոկը կազմված է էլեկտրոնային բլոկներից, որոնք հավաքված են NI cDAQ 9174 տիպի սարքի վրա, որը միացված է համակարգչին:

Ինտերֆեյսային բլոկը նախատեսված է կտրիչակալի տվիչներից ստացվող էլեկտրական ազդանշանների հավաքման համար: Էլեկտրական ազդանշանները ինտերֆեյսային բլոկում փոխակերպվում են High-Speed ֆորմատի և հաղորդվում են համակարգչին: Ինտերֆեյսային բլոկը կազմված է տվյալների հավաքման NI

9234, NI 9237 և NI 9219 մոդուլներից, որոնք հավաքված են cDAQ-9174 տիպի սարքի վրա:



Նկ.3.12. Ինտերֆեյսային բլոկի արտաքին տեսքը և կառուցվածքը [63]



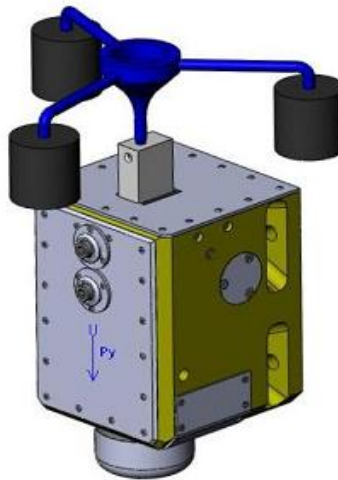
Նկ.3.13. NI 9234, NI 9237 և NI 9219 մոդուլների արտաքին տեսքերը [63]

NI 9234 տվյալների հավաքման սարքը նախատեսված է տատանումներից ստացված ազդանշանների փոխակերպման համար, NI 9237՝ ուժերի չափման համար, NI 9219 նախատեսված է կտրման գոտու ջերմոգույգից ստացված ազդանշանի փոխակերպման համար:

Փորձը սկսելուց առաջ անհրաժեշտ է իրականացնել ստենդի կարգաբերում: Ստենդի ճիշտ կարգաբերումը շատ կարևոր է, քանի որ դրանից է կախված փորձի ճշտությունը: Ստենդի կարգաբերումը իրականացվում է կարգաբերման ռեժիմում: Կարգաբերման ռեժիմն ունի երկու հատված՝ դինամիկ բեռնվածքների և բնական ջերմոգույգի կարգաբերման հատված: Դինամիկ բեռնվածքների կարգաբերման համար ստենդը ունի կարգաբերման գլխույկ և կարգաբերման բեռ (5,8կգ): Կարգաբերումը X,Y,Z առանցքներով իրականացվում է առանձին-առանձին: P_y դինամոմետրի կարգաբերումը:

Կարգաբերումը իրականացվում է հետևյալ հաջորդականությամբ.

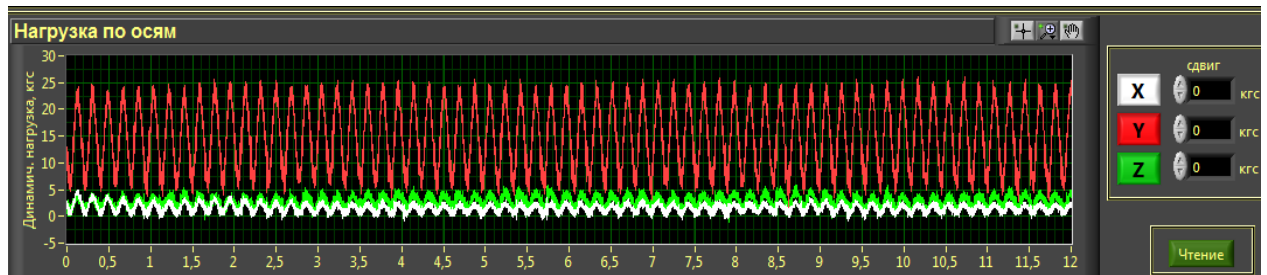
1. Կտրիչակալի ճոճանակի բնում տեղակայվում է կարգաբերող գլխույկը և ամրացվում է հեղուսներով:
2. Հաստոցի սուպորտից հանվում է կտրիչակալը:
3. Կտրիչակալը տեղակայվում է հարթության վրա ինչպես ցույց է տրված նկ.3.14.- ում:
4. Գործարկել կարգաբերման ռեժիմը:
5. Բեռը տեղադրել կարգաբերող գլխույկի վրա ինչպես ցույց է տրված նկ.3.14.- ում:



Նկ.3.14. Ուժաչափի կարգաբերման սխեմա [63]

Կարգաբերման ռեժիմը գործարկելուց հետո բեռի ազդեցության պայմաններում հաշվարկվում է ինչ-որ ընթացիկ արժեք, որը տարբերվում է էտալոնային արժեքից այնուհետև մուտքագրվում է էտալոնային արժեքը (5,8) և ծրագիրը կատարում է վերահաշվարկ և ճշգրտում [63,69]:

Երեք առանցքներով ուժաչափը կարգաբերելուց հետո հանվում է հաստոցի կտրիչակալը և տեղադրվում է ուժաչափի կտրիչակալը: Ուժաչափի կտրիչակալի բնիկում ամրացվում է գրտնակիչը անպես, որ ինդենտորի գագաթը գտնվի նախապատրաստվածքի պտտման առանցքի վրա, իսկ ինդենտորի առանցքը լինի ուղղահայաց նախապատրաստվածքի պտտման առանցքին:

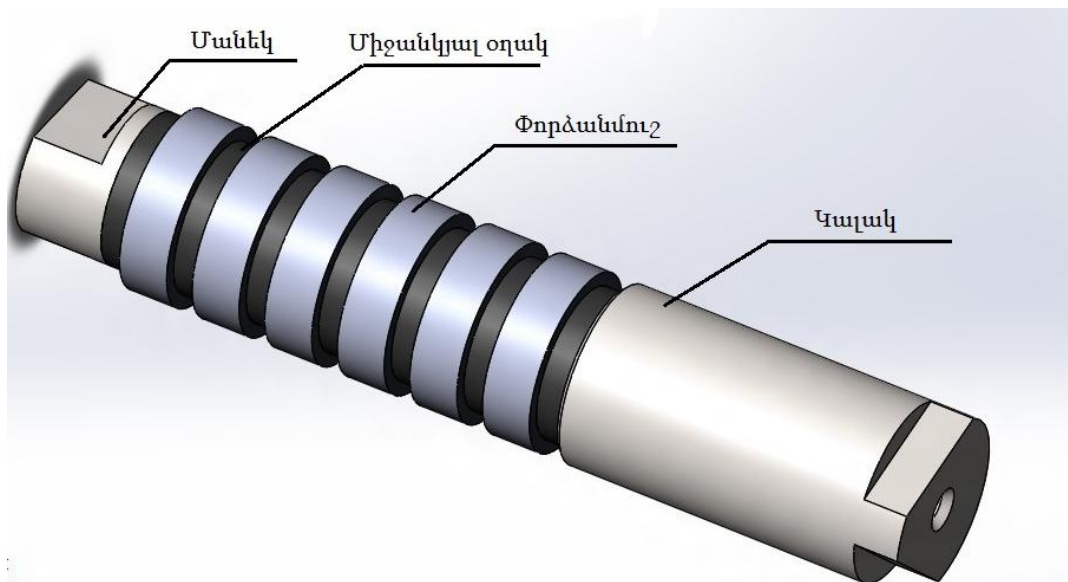


Նկ.3.15. Ուժերի դիագրաման գրտնակման ժամանակ

Ուժի դիագրամայից երևում է, որ $P_y=150(\text{Ն})$, է $P_x=20(\text{Ն})$ $P_z=30(\text{Ն})$: P_x բաղադրիչը կազմել է P_y -ի 0,13 մասը, իսկ P_z բաղադրիչը կազմել է P_y -ի 0,2 մասը, հետևաբար գրտնակիչը կարելի է տեղադրել X առանցքների նկատմամբ 8° աստիճանի տակ, իսկ Z առանցքների նկատմամբ 12° աստիճանի տակ, որի հետևանքով նրա ինդենտորի A_x տատանման ամպլիտուդները հավասար կլինեն մոտավորապես $0,13A_y$, իսկ A_z տատանման ամպլիտուդները հավասար կլինեն մոտավորապես $0,2A_y$: Եթե ընդունենք $A_y=20\text{մկմ}$, ապա $A_x=2,6\text{մկմ}$ $A_z=4\text{մկմ}$:

3.4. Փորձարարական սարքավորումներ

Հետազոտություններն իրականացվել են հետևյալ հերթականությամբ. Ընտրված նյութերից մշակվել են օղակաձև փորձանմուշներ և հավաքվել են կալակի վրա՝ նկ.3.16:



Նկ.3.16. Կալակը հավաքված փորձանմուշներով

Կալակը ճշգրիտ մշակված է և ունի կենտրոնավորման բներ, որոնցով բազայավորվում է հաստոցի կենտրոններում: Հետազոտման համար օգտագործվել են գլանվածքից պատրաստված փորձարարական նմուշներ՝ $\varnothing 40\text{մմ}$ արտաքին տրամագծով օղակներ, որոնց ներքին տրամագիծը $\varnothing 26\text{մմ}$ մշակված է 7-րդ քվադրանտի

Ճշտությամբ: Փորձանմուշների խփոցը վերացնելու, ինչպես նաև ելակետային խորդուբորդություններով մակերևութային շերտ ձևավորելու համար կալակի վրա հավաքված փորձանմուշները ենթարկվում են կտրմամբ մշակման: Կտրումը իրականացվում է 16B05A խառատա-պտուտակահան հաստոցի վրա: Փորձանմուշները ենթարկվում են կտրմամբ մշակման՝ ապահովելով արտաքին տրամագիծը $\varnothing 37$ մմ, դա պայմանավորված է նրանով, որ հետագայում միկրոկարծրություն չափելու ժամանակ թեք հարթության ստացման հարմարանքի մեջ հնարավոր լինի ամրացնել: Բոլոր փորձանմուշները մշակվել են կտրման նույն ռեժիմներով: Կտրման ժամանակ օգտագործվել է T15K6 մակնիշի կարծր համաձուլվածքից սալիկով կտրիչ, որի երկրաչափական պարամետրերն են՝ $\gamma=15^\circ$, $\alpha=8^\circ$, $\varphi=90^\circ$: Կտրիչները սրվել են АЧК տիպի ալմաստային հղկաքարով: Քանի որ կտրման գործընթացից հետո նույնպես մակերևութային շերտում որոշակի չափով առաջանում են բացասական մնացորդային լարումներ, հետևաբար գրտնակման ժամանակ մշակվող փորձանմուշն արդեն ունի որոշակի ամրացված մակերևութային շերտ և հետևաբար առաջանում են դժվարություններ սահմանագատելու և գնահատելու կտրմամբ և գրտնակմամբ ստացված մեծությունների ազդեցության աստիճանը: Քանի որ փորձերի ժամանակ ամրացման աստիճանը և ամրացված շերտի խորությունը ելքային պարամետրեր են, այդ պատճառով անհրաժեշտ է կտրման գործընթացից առաջացող ամրացման երևույթը հասցնել նվազագույնի, դրանով է պայմանավորված կտրիչի երկրաչափության $\varphi=90^\circ$ անկյան ընտրությունը:

Գրտնակման գործընթացը իրականացվել է 1M61 խառատա-պտուտակահան հաստոցի վրա, որի իլի խփոցը ստուգվել է միկրոնային ինդիկատորով և կազմել է 0,005մմ: Հաստոցի հետին կոճղը կարգաբերվել է այնպես, որ ապահովի իլի նույն դիրքում 0,005մմ խփոց: Քանի որ ստատիկ ուժը ապահովվում է բեռի միջոցով, կարելի է ընդունել, որ իլի խփոցի ազդեցությունը ելքային պարամետրերի վրա նվազագույն է և կարելի է անտեսել: Գերձայնային տատանումների ստացման համար օգտագործվում է բարձր հաճախականության УЗГ-10У մակնիշի գեներատորը, որը թույլ է տալիս ստանալ միջև 22 կՀց հաճախականությամբ տատանումներ:

3.5. Փորձանմուշների նյութերի ընտրություն

Փորձերի ժամանակ օգտագործվել են այնպիսի նյութեր, որոնք զգալիորեն տարբերվում են միմյանցից քիմիական բաղադրությամբ, ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններով և այնպիսի նյութեր, որոնց գրտնակումը դժվարություն է ներկայացնում: Պողպատները օգտագործվել է միջին ամրության ածխածնային պողպատ 45-ը և բարձր ամրության ІІІХ15 մակնիշի կոնստրուկցիոն պողպատը: Բացի նշվածներից օգտագործվել է բարձր ամրությամբ ու մածուցիկությամբ և խիստ ցածր ջերմահաղորդականությամբ օժտված տիտանային համաձուլվածք BT5-ը և X18H9T չժանգոտվող պողպատ: Տիտանի համաձուլվածքները կիրառվում են ավիացիոն տեխնիկայում, նավաշինության մեջ, ինչպես նաև ռազմական արդյունաբերական համալիրում (ՌԱՀ) , որոնցից յուրաքանչյուրում անհրաժեշտ են թեթև, ամուր և ջերմակայուն նյութերից պատրաստված դետալներ: Տիտանի համաձուլվածքների մշակման դժվարությունները պայմանավորված են տիտանի մեխանիկական հատկություններով: Տիտանի համաձուլվածքից դետալների պատրաստման համար կարելի է կիրառել սևատաշ մշակման բոլոր մեթոդները: Խնդիր է առաջանում մաքրատաշ մշակումների՝ հատկապես հղկման ժամանակ: Դա պայմանավորված է նրանով, որ տիտանի համաձուլվածքները ունեն ցածր ջերմահաղորդականություն: Ցածր ջերմահաղորդականության հետևանքով հպումային մասում առաջանում է բարձր ջերմություն և տեղի է ունենում մակերևույթի այրվածքներ՝ վատացնելով մակերևույթի որակը, կամ բարձր ջերմաստիճանի պայմաններում պլաստիկ նյութը կաշում է գործիքին՝ վատացնելով գործիքի մակերևույթը:

Աղ. 3.1. Փորձանմուշների քիմիական բաղադրությունը

Մետաղի մակնիշը	Քիմիական բաղադրությունը %(մնացածը երկաթ)						
	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni
Պողպատ 45	0,46	0,6	0,22	–	0,024	0,018	0.25
Պողպատ ІІІХ15	0,95	0,3	0,2	1,4	0,02	0,027	0.3
Պողպատ X18H9T	0,12	2	0,8	17-19	0.02	0.035	8-9,5

Աղ.3.2. BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքի քիմիական բաղադրությունը

Մետաղի մականիշ	Քիմիական բաղադրությունը % (մնացածը տիտան)						
	Al	Fe	Si	C	O	N	H
BT5	4,5-6	0,3	0,15	0,1	0,15	0,05	0,015

Աղ. 3.3. Փորձանմուշների ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունները

Մետաղի մականիշ	Մեխանիկական հատկություններ				
	σ_B	σ_T	δ	ψ	HB
	ՄՊա	ՄՊա	%	%	ՄՊա
Պողպատ 45	610	360	16	40	1970
Պողպատ IIIX15	710	405	15	35	1900
Պողպատ X18H9T	540	196	40	55	1700
Տիտան BT5	950	720	10-15	30...45	2690

3.6. Հետազոտության հաստատուն և փոփոխական պայմանները

Ուսումնասիրվել է տարբեր ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններով նյութերի տարածական գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման գործընթաց: Մակերևույթի միկրոերկրաչափության և մակերևութային շերտի դեֆորմացված վիճակի պարամետրերի գնահատման համար փորձերի մաթեմատիկական պլանավորման եղանակով մշակվել է բազմագործոնային մոդելներ՝ կախված ելակետային խորդուբորդություններից, ազդող ստատիկ ուժից, գրտնակման մատուցումից, տատանման ամպլիտուդից և գրտնակման անցումների թվից, ընդ որում առաջին երեք պարամետրերից կախումը քառակուսային է, իսկ անցումների թվից և տատանման ամպլիտուդից կախումը գծային է:

Քանի որ մշակման ժամանակ կիրառվել է տարբեր նյութեր

Հետազոտության հաստատուն պայմաններն են.

1. Իդենտորի շառվիղը ($r = 3$ մմ) և նյութը (BK8)
2. Գրտնակման արագությունը Պողպատ 45, IIIX15, X18H9T համար $V=52$ մ/րոպ ($n=710$), իսկ տիտան BT5 համար $V=24$ մ/րոպ ($n=200$),
3. Տեխնիկական միջավայրը- էմուլսիա BT5, X18H9T համար, յուղ Индустриальное 20- Պողպատ 45 և IIIX15:

Հաստատուն պայմաններ են նաև մշակման ժամանակ օգտագործվող հաստոցները, հարմարանքները, գործիքները ինչպես նաև չափումների համար օգտագործվող սարքավորումները:

Հետազոտության փոփոխական պարամետրերն են.

1. Ելակետային խորդուբորդությունները- նվազագույն արժեքը $Ra=1$ մկմ, առավելագույն արժեքը $Ra=4$ մկմ,
2. Գրտնակման մատուցումը-նվազագույն արժեքը $S=0,09$ մմ/պտ, առավելագույն արժեքը $S=0,13$ մմ/պտ,
3. Գրտնակման ուժ- նվազագույն արժեքը $P=100$ Ն, առավելագույն արժեքը 200 Ն,
4. Գերձայնային տատանման ամպլիտուդը- նվազագույն արժեքը $A=0$ (այսինքն առանց գերձայնային տատանումների), առավելագույն արժեքը $A=12$ մկմ,
5. Գրտնակման անցումների թիվը- նվազագույն արժեքը $i=1$, առավելագույնը - $i=3$,

Հետազոտության ելքային պարամետրեր են.

1. մշակված մակերևույթի խորդուբորդությունների Ra, Rz, R_{max} մեծությունները,
2. մակերևույթի միկրոկարծրությունը H_{100} ,
3. մակերևույթի ամրացված շերտի խորությունը h ,
4. ամրացման աստիճանը U_H %

Քանի որ ելակետային խորդուբորդությունները փոփոխական պարամետր է այդ պատճառով անհրաժեշտ է կտրման ռեժիմները ճիշտ ընտրել որպեսզի ստացվի անհրաժեշտ ելակետային խորդուբորդությունները: Մշակման ժամանակ օգտագործվող բոլոր նյութերի անհրաժեշտ ելակետային խորդուբորդությունների ստացման համար՝ պահանջվող կտրման ռեժիմները ստացվել են նախնական փորձերի միջոցով:

3.7. Փորձարարական չափիչ սարքավորումներ

Փորձարարական հետազոտությունների համար անհրաժեշտ չափիչ և գրանցող սարքավորումների ընտրությունը կատարված է ելնելով մակերևույթների որակական ցուցանիշների հետազոտման խնդիրներից:

3.7.1. Տատանման ամպլիտուդի չափման մեթոդաբանություն

Հիմնական մեծությունները որոնք բնութագրում են հարմոնիկ տատանողական շարժումը՝ դա ալիքի երկրությունն է (λ), տատանման հաճախականությունը (f) և

տատանման ամպլիտուդն է (A): Նշված մեծություններից փորձերի ընթացքում չափվել է տատանման ամպլիտուդը: Տատանման ամպլիտուդը տատանվող կետի ամենամեծ տեղաշարժն է հավասարակշռության դիրքից: Տատանման ամպլիտուդի չափման համար կիրառվել է երկաստիճան խոշորացումով մանրադիտակ, որն ունի սանդղակ դիտարկվող օբյեկտի տեղաշարժի չափերը հաշվարկելու համար:



Նկ.3.17. Տատանման ամպլիտուդի չափումը

Մանրադիտակը ունի հենարան, որի միջոցով ամրացվում է հաստոցի հենոցին: Մանրադիտակը տեղակայվում է այնպես, որ հնարավոր լինի դիտարկել խտարարի վրա որևէ հետք: Սանդղակի միջոցով չափվում է հետքի տրամագիծը d -ն, այնուհետև գեներատորից միացվում են տատանումները: Տատանումների պայմաններում հետքը ձգվում է՝ վերածվելով գծի: Մանրադիտակի սանդղակի միջոցով չափվում է գծի երկարությունը D -ն:

Տատանման ամպլիտուդը հաշվարկվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$A = \frac{D-d}{2} \text{ (մկմ)} \quad (3. 1)$$

3.7.2. Մակերևույթի խորդուբորդությունների չափման մեթոդաբանություն

Մշակված մակերևույթի խորդուբորդության պարամետրերից ուսումնասիրվել են Ra, Rz, R_{max} մեծությունները: Չափման համար կիրառվել է АБРИС-ПМ7 մակնիշի

պրոֆիլաչափը (նկ.3.18) ըստ ГОСТ 2789-73: АБРИС-ПМ7 մակնիշի պրոֆիլաչափը, ըստ անձնագրային տվյալների բավարարում է չափման համար անհրաժեշտ պայմաններին և АБРИС-ПМ7 մակնիշի պրոֆիլաչափով կարելի է իրականացնել չափումները բավականին մեծ ճշտությամբ: Նմուշի չափումն իրականացվում է առնվազն 3 տարբեր դիրքերում՝ ամեն դիրքում 3 անգամ և վերցվում է միջինացված արժեքը: Դա թույլ է տալիս խուսափել չափման ժամանակ առաջացող պատահական սխալանքներից: Չափումները սկսելուց առաջ պրոֆիլաչափը կարգաբերվում է ըստ էտալոնի:



Նկ.3.18. Մակերևութային խորդուրորդությունների չափման АБРИС-ПМ7 մակնիշի պրոֆիլաչափի կարգաբերումը և արտաքին տեսքը

Քանի որ անհրաժեշտ է նաև ելակետային խորդուրորդությունները չափել և որպեսզի կտրմամբ մշակումից հետո չափման համար փորձանմուշները չհանվեն կալակից և հետո նորից հավաքվեն դրա համար մշակվող նմուշներից մեկը գրտնակվում է կիսով չափ, որի վրա հնարավոր է լինում նաև չափել ելակետային անհարթությունները:

Մակերևութային շերտը ուսունասիրվել է AXIO մակնիշի էլեկտրոնային մանրադիտակի միջոցով:



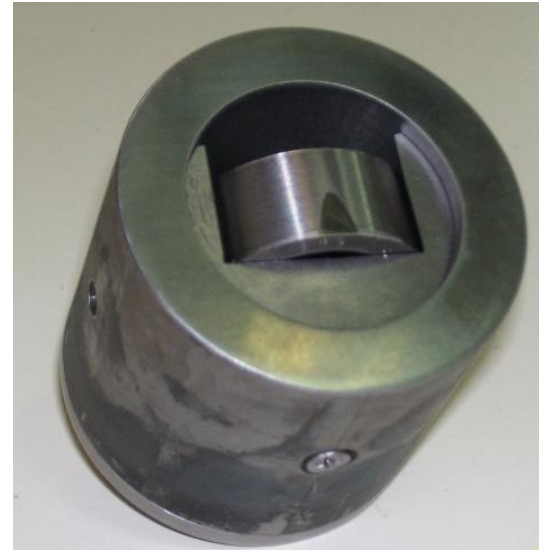
Նկ.3.19. AXIO մակնիշի էլեկտրոնային մանրադիտակի արտաքին տեսքը

Մանրադիտակը հնարավորություն է տալիս մինչև 1000^x խոշորացված ուսումնասիրել մակերևութային շերտը, կատարել չափումներ և ստանալ մակերևութային շերտի ֆոտո պատկերը:

3.7.3. Մակերևութային շերտի միկրոկարծրության չափման մեթոդաբանություն

Մշակված փորձանմուշի ամրացման չափը և ամրացված շերտի խորությունը որոշելու համար նմուշի վրա մշակվում է թեք հարթություն: Թեք հարթության ստացման համար օգտագործվել է հատուկ հարմարանք, որը բերված է նկ.3.20-ում: Մշակված մակերևութի միկրոկարծրությունը չափվել է PMT-3 մակնիշի միկրոկարծրաչափի միջոցով ГОСТ 22162-76: Թեք հարթության մշակումը իրականացվել է հետևյալ ձևով. չափման համար պատրաստի փորձանմուշը տեղադրվում է հարմարանքի մեջ և ամրացվում: Մշակման համար օգտագործվում են տարբեր հատիկայնության հղկաթղթեր՝ սկզբում խոշոր հատիկայնությամբ, այնուհետև ավելի մանր: Մշակումն իրականացվում է հարմարանքը ձեռքով քսելով հղկաթղթին: Հարթակի չափը ստանալուց հետո իրականացվում է վերջնամշակումը: Վերջնամշակումը կատարվել է տարբեր հատիկայնության ալմաստային փոշիներ օգտագործելով: Հարմարանքը այս դեպքում քսվում է թուշից սալին: Չափման ժամանակ միկրոկարծրաչափի դեֆորմացնող տարրի վրա բեռնվածքը 100գր է: Քանի որ մշակումը իրականացվում է ձեռքով, հետևաբար հարթության մշակման ժամանակ սեղման ուժը կարող է լինել

փոփոխական, դրա համար հարմարանքում նախատեսված է զսպանակ(3), որը թույլ է տալիս անկախ ձեռքով սեխման ուժից, նմուշը միշտ նույն ուժով սեղմել հղկաթղթին:



Նկ.3.20. Թեք հարթության ստացման հարմարանք

Ամրացման աստիճանը որոշվում է հետևյալ արտահայտությունից

$$U_H = \frac{H_{100} - H_{isx}}{H_{isx}} \quad (3.2)$$

Որտեղ H_{100} -ը մակերևույթի միկրոկարծրությունն է, որը հաշվարկվում է հետևյալ արտահայտությունից $H_{100} = 1854P/d^2$, որտեղ P -ն ազդող բեռն է տվյալ դեպքում 100գր., իսկ d -ն առաջացած հետքի անկյունագիծը: H_{isx} -ը փորձանմուշի ելակետային միկրոկարծրությունը: Ամրացված շերտի խորությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ $h_H = \ell * \sin \alpha$, որտեղ՝ ℓ -ը թեք հարթության ամրացված շերտի երկարությունն է, իսկ α -ն հարթության թեքման անկյունն է, որը տվյալ հարմարանքի դեպքում կազմում է $\alpha = 2^\circ 20'$ անկյուն:

Մշակված մակերևութային շերտի կարևոր բնութագրերից է նաև ամրացման գրադիենտը, որը որոշվում է (3.3) արտահայտությամբ:

$$\lambda = \text{grad} H_{100} = \frac{\Delta H_{100}}{h_H} \quad (3.3)$$

3.8. Ինդենտորի մաշված սֆերիկ մակերևույթի վերականգնման մեթոդաբանություն

Գերձայնային գրտնակման դեպքում, ինչպես նշվել է, կիրառվում է սահքի սխեման, այսինքն ինդենտորը սահելով անցնում է մշակվող մակերևույթով՝ իրականացնելով գրտնակման գործընթացը: Ինդենտորի աշխատանքային մասը, որն

անմիջապես մասնակցում է դեֆորմացման գործընթացին, իրենից ներկայացնում է սֆերիկ մակերևույթ: Գրտնակման գործընթացում իդենտորը աշխատում է բավականին ծանր պայմաններում և շուտ է մաշվում, այդ պատճառով մշակվել է գլանաձև կարծր համաձուլվածքից նախապատրաստվածքի վրա սֆերիկ մակերևույթի մշակման մեթոդաբանություն: Մեթոդաբանության մշակման ժամանակ հաշվի է առնվել Գերձայնային լաբորատորիայի ունեցած հնարավորությունները: Սֆերիկ մակերևույթի մշակումը իրականացվում է 16B05A խառատա-պտուտակահան հաստոցի վրա: Հաստոցի իլից անջատվում է եռաբունցք կապիչը, գլանաձև նախապատրաստվածքը ցանգայի միջոցով ամրացվում է հաստոցի իլում և հաղորդվում է պտտական շարժում:

Հաստոցի լայնական սահնակին ամրացվել է АОЛ 11-2 С1 մակնիշի էլեկտրոշարժիչը, որի պտուտաթվերն են $n=2800$ պտ/րոպ: Շարժիչի լիսեռին ամրացվում է սկավառակաձև կերամիկական գործիք, որով իրականացվում է սֆերիկ մակերևույթի սևատաշ մշակումը: Շարժիչը տեղադրվում է լայնական սահնակի վրա, ամրացվում է հատուկ դետալի միջոցով, որը հնարավորություն է տալիս շարժիչին ամրացված առանցքի նկատմամբ պտտվել: Շարժիչի ճոճը նշված առանցքի նկատմամբ ապահովվում է դետալի միջոցով, որը շարժիչը կապում է հաստոցի երկայնական սահնակին: Սֆերիկ մակերևույթի շառավիղը ստացվում է շարժիչը նախապատրաստվածքի նկատմամբ ըստ չափի տեղակայմամբ, իսկ շարժիչի ճոճը իրականացվում է լայնական սահնակի միջոցով:



Նկ. 3.21. Ինդենտորի սֆերիկ մակերևույթի մշակումը

Սֆերիկ մակերևույթի անհրաժեշտ չափը ստանալուց հետո իրականացվում է վերջնամշակումը: Վերջնամշակումը կատարվում է տարբեր հատիկայնության ալմաստային մածուկների օգտագործմամբ:

3.9. Եզրակացություններ

1. Մշակվել և առաջին անգամ հետազոտվել են մեքենամասերի բանվորական մակերևույթների պլաստիկ դեֆորմացման գրտնակիչների ակուստիկական համակարգերի՝ մագնիսակծկման տրանսֆորմատորի և ԳՁՏ-ի խտարարի միացման նոր եղանակներ (ՀՀ թիվ 3004 և ՀՀ թիվ 3005 A արտոնագրեր):
2. Մշակվել է փորձարարական հետազոտությունների իրականացման ընդհանուր մեթոդաբանությունը՝ գրտնակման համազոր ուժի ուղղությամբ գրտնակիչի վրա ԳՁՏ-ի ապահովման մեթոդիկան, փորձարարական տեխնոլոգիական և չափիչ-գրանցող սարքավորումների, փորձանմուշների նյութի և չափերի, հետազոտության հաստատուն, փոփոխական մուտքային ու հետազոտվող ելքային գործոնների ընտրության հիմնավորումները, ԳՁՏ տատանման ամպլիտուդի, մշակված մակերևույթի խորդուբորդությունների պարամետրերի և մակերևութային շերտի միկրոկարծրության չափումների սխեմաներն ու եղանակները:

ԳԼՈՒԽ 4. ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

4.1. Փորձերի պլանավորումը և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքների մաթեմատիկական մշակումը

Ժամանակակից գիտական մեթոդաբանության մեջ փորձերի պլանավորման մաթեմատիկական մեթոդները, որոնք առաջին անգամ առաջարկվել են անգլիացի մաթեմատիկոս Ռ. Ֆիշերի կողմից, լայնորեն կիրառվում են բազմաթիվ խնդիրների լուծման համար, այդ թվում՝ փորձարարական հետազոտությունների կազմակերպման և ակտիվ կառավարման, զանազան տեխնոլոգիական պրոցեսների մաթեմատիկական մոդելների ստեղծման և դրանց օպտիմալ ռեժիմների որոնման համար: Այս մեթոդները տարածում են գտել նաև շնորհիվ հայտնի ռուս մաթեմատիկոս Վ.Վ. Նալիմովի [50,51] գիտական աշխատանքների: Դրանք լայնորեն կիրառվում են գիտության և արտադրության գրեթե բոլոր ոլորտներում, մասնավորապես՝ նյութերի մշակման տարբեր տեխնոլոգիական պրոցեսների ուսումնասիրությունների և օպտիմալացման ժամանակ:

Փորձերի մաթեմատիկական պլանավորման եղանակով այդպիսի տեխնոլոգիական գործընթացների մաթեմատիկական մոդելների որոշումը իրականացվում է հետևյալ ձևով՝ ըստ փորձի արդյունքների որոշում են ռեգրեսիոն հավասարման գործակիցները և ստանում են հետազոտվող օբյեկտի գծային մոդելը:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i + \sum_{i < j}^k a_{ij} X_i X_j, \quad (4.1)$$

Որտեղ Y -տեխնոլոգիական գործընթացի հետազոտվող պարամետրն է, X_i - i -րդ կոդավորված փոփոխական գործոնն է, $a_0, a_i, a_{ij}, \dots$ - ռեգրեսիոն հավասարման ընտրված գործակիցներն են, k -փոփոխական գործոնների թիվն է [10]:

Հարկ է նշել, որ այդպիսի պլանները պիտանի չեն էքստրեմումային տեխնոլոգիական գործընթացների մոդելավորման համար: Շատ դեպքերում կարելի է հասնել բավարար մոտարկման, եթե օգտագործվի երկրորդ կարգի պոլինոմներ: Այդ դեպքում իրականացնում են լրացուցիչ փորձարկումներ հատուկ կետերում, որոնք

կոչվում է N կենտրոնական կամ աստղային և այս դեպքում՝ ըստ փորձերի պլանի, որոշվում է մաթեմատիկական մոդելը հետևյալ ձևով.

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i + \sum_{i < j}^k a_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} X_i^2, \quad (4.2)$$

Որը պարունակում է ինչպես երկրորդ կարգի անդամներ, այդպես էլ զույգեր, որոնք գործոնների փոխազդեցություններն են: Հետագոտվող օբյեկտի մաթեմատիկական նկարագրման այդպիսի եղանակն ունի փորձի արդյունքների վերարտադրման ցածր ճշտություն, որի սխալանքը որոշ դեպքերում հասնում է մինչև 45% և ավելի [15]:

Ոչ գծային տեխնոլոգիական գործընթացների ուսումնասիրման համար լայն տարածում է գտել ՀԱՊՀ-ում մշակված [15-18] մեթոդը, համաձայն որի մաթեմատիկական մոդելի քառակուսային և ավելի բարձր կարգի անդամները ստացվում են X_i գործոնը բաժանելով համապատասխան նոր, սակայն հավասարազոր գործոնների $q_1, q_2, q_3, \dots, q_p$ և դրանց փոխազդեցության հաշվին ստանալ հետագոտվող մոդելի նկարագրման անհրաժեշտ կարգը [4, 15-18]:

Բնական արժեքներով փոփոխական գործոնների x_i բաժանումը մի քանի ենթամիջակայքերի իրականացվում է հաշվի առնելով $x_i = (q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_p) / p$ և $q_1 \cong q_2 \cong q_3 \cong \dots \cong q_p$ պայմանները, որտեղ p -հետագոտվող մաթեմատիկական մոդելի i -րդ գործոնի կարգն է: Նոր գործոնները կիրառվում են որպես անկախ գործոններ: Մաթեմատիկական մոդելը կնդունի հետևյալ տեսքը.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^L b_i q_i + \sum_{i < j}^L b_{ij} q_i q_j + \sum_{i < j < r}^L b_{ijr} q_i q_j q_r + \dots, \quad (4.3)$$

որտեղ q_i -կոդավորված i -րդ նոր գործոնն է, $b_0, b_i, b_{ij} \dots$ - ռեգրեսիոն հավասարման ընտրված գործակիցներն են, L -նոր փոփոխական գործոնների թիվն է: Նշված պայմանները հաշվի առնելով և կատարելով ձևափոխություններ կարելի է ստանալ բանաձև $a_0, a_i, a_{ij} \dots$ գործակիցների հաշվարկման համար, և ստանալ գործընթացի մոդելը (3.2) ձևով [15-18]:

Փորձերի արդյունքների հիման վրա մշակվել է մաթեմատիկական մոդել տարածական գերձայինային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման գործընթացի նկարագրման համար: Հաշվի առնելով հայտնի ուսումնասիրությունների արդյունքները

մաթեմատիկական մոդելի կախումը առաջին երեք գործոններից ընտրվել է քառակուսային, իսկ չորրորդ և հինգերորդ գործոններից գծային:

Առաջին մուտքային պարամետրի յուրաքանչյուր ենթամիջակայքը ընդունենք որպես նոր մուտքային պարամետր և նրա կոդային արժեքները նշանակենք համապատասխանաբար՝ q_1, q_2 , ընդ որում $q_1 \equiv q_2$, երկրորդ մուտքային պարամետրի համար կոդային արժեքները՝ q_3, q_4 , ընդ որում $q_3 \equiv q_4$, իսկ կոդային արժեքները՝ q_3, q_4 : Երրորդ մուտքային պարամետրի համար՝ կոդային արժեքները՝ q_5, q_6 : q_5 որպես փոխազդեցություն $q_5 = q_1 q_3$, իսկ q_6 որպես փոխազդեցություն $q_6 = q_2 q_4$: Կոդային արժեքով չորրորդ փոփոխականը q_7 ընդունվում է որպես փոխազդեցություն $q_7 = q_1 q_4$, իսկ կոդային արժեքով հինգերորդ փոփոխականը q_8 ընդունվում է որպես փոխազդեցություն $q_8 = q_2 q_3$:

Նշված գործողությունները կատարելուց հետո անհրաժեշտ է կազմել փորձերի պլան 8 նոր մուտքային պարամետրերի համար (աղ.4.1):

Ուստի, համաձայն (4.3) արտահայտության, այդպիսի օբյեկտի մաթեմատիկական մոդելը կարելի է նկարագրել հետևյալ արտահայտության միջոցով՝

$$Y = b_0 + b_1 q_1 + b_2 q_2 + b_3 q_3 + b_4 q_4 + b_{12} q_1 q_2 + b_{13} q_1 q_3 + b_{24} q_2 q_4 + b_{14} q_1 q_4 + b_{23} q_2 q_3 + b_{34} q_3 q_4 + b_{123} q_1 q_2 q_3 + b_{124} q_1 q_2 q_4 + b_{134} q_1 q_3 q_4 + b_{234} q_2 q_3 q_4 + b_{1234} q_1 q_2 q_3 q_4 + \quad (4.4)$$

քանի որ $q_5 = q_1 q_3$, $q_6 = q_2 q_4$, $q_7 = q_1 q_4$, $q_8 = q_2 q_3$ կատարելով փոփոխությունները (4.4) կնդունի հետևյալ տեսքը.

Աղ.4.1. Փորձերի պլան

q0	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8			
q0	q1	q2	q3	q4	q1q3	q2q4	q1q4	q2q3	q1q2	q3q4	q5q6
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1
1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1

1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1
1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

$$Y = b_0 + b_1 q_1 + b_2 q_2 + b_3 q_3 + b_4 q_4 + b_{12} q_1 q_2 + b_{13} q_5 + b_{14} q_6 + b_{23} q_7 + b_{24} q_8 + b_{34} q_3 q_4 + b_{123} q_1 q_2 q_3 + b_{124} q_1 q_2 q_4 + b_{134} q_1 q_3 q_4 + b_{234} q_2 q_3 q_4 + b_{1234} q_5 q_6 + \quad (4.5)$$

Քանի որ $b_1 = b_2, b_3 = b_4, b_5 = b_6, b_{123} = b_{134}, b_{123} = b_{234}$ կատարելով

փոփոխությունները (4.5) կնդունի հետևյալ տեսքը.

$$Y = b_0 + b_1(q_1 + q_2) + b_3(q_3 + q_4) + b_{12}q_1q_2 + b_{13}(q_5 + q_6) + b_{23}q_7 + b_{24}q_8 + b_{34}q_3q_4 + b_{123}q_1q_2(q_3 + q_4) + b_{134}(q_1 + q_2)q_3q_4 + b_{1234}q_5q_6 \quad (4.6)$$

Հաշվի առնելով, որ

$$q_1 + q_2 = 2X_1, q_3 + q_4 = 2X_2, q_5 + q_6 = 2X_3, q_1q_2 = 2X_2^2 - 1, q_3q_4 = 2X_2^2 - 1, q_5q_6 = 2X_3^2 - 1 \quad (4.7)$$

(4.6) արտահայտությունից կստանանք.

$$Y = b_0 - b_{12} - b_{34} - b_{1234} + 2(b_1 - b_{134})X_1 + 2(b_3 - b_{123})X_2 + 2b_{13}X_3 + b_{14}X_4 + b_{23}X_5 + 2b_{12}X_1^2 + 2b_{34}X_2^2 + 2b_{1234}X_3^2 + 4b_{123}X_1^2X_2 + 4b_{134}X_1X_2^2, \quad (4.8)$$

(4.8) կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2 + B_{112}X_1^2X_2 + B_{122}X_1X_2^2, \quad (4.9)$$

որտեղ $B_0 = b_0 - b_{12} - 2b_{34} - b_{1234}; B_1 = 2(b_1 - b_{134}); B_2 = 2(b_3 - b_{123}); B_3 = 2b_{13}; B_4 = b_{14}; B_5 = b_{23}; B_{11} = 2b_{12}; B_{22} = 2b_{34}; B_{33} = 2b_{1234}; B_{112} = 4b_{123}; B_{122} = 4b_{134}.$

Այս ձևով կստանանք հետազոտվող տեխնոլոգիական գործընթացի մաթեմատիկական մոդել փոփոխական գործոնների կողային արժեքներով. Փոփոխական գործոնների բնական արժեքներով մաթեմատիկական մոդել ստանալու համար օգտվենք մասշտաբային փոխարինման հետևյալ բանաձևերից $X_i = (x_i - x_{i0})/\Delta x_i = K_i x_i + C_i$, որտեղ X_i -ն i-երորդ գործոնի կոդավորված արժեքն է, x_i -ն i-երորդ գործոնի բնական արժեքն է, $x_{i0} = 0.5(x_{i\max} + x_{i\min})$ -i-երորդ գործոնի միջին արժեքն

է, $\Delta x_i = 0.5(x_{i\max} - x_{i\min})$ - i-երորդ գործոնի մասշտաբային փոխակերպումն է բնական արժեքներով, $K_i = 1/\Delta x_i$, $C_i = -x_{i0}/\Delta x_i$ և համապատասխանաբար կստանանք

$$\begin{aligned} X_1 &= k_1 x_1 + c_1, \quad X_2 = k_2 x_2 + c_2, \quad X_3 = k_3 x_3 + c_3, \quad X_4 = k_1 x_4 + c_4, \quad X_5 = k_5 x_5 + c_5, \\ X_1^2 &= k_1^2 x_1^2 + 2k_1 c_1 x_1 + c_1^2, \quad X_2^2 = k_2^2 x_2^2 + 2k_2 c_2 x_2 + c_2^2, \quad X_3^2 = k_3^2 x_3^2 + 2k_3 c_3 x_3 + c_3^2: \end{aligned} \quad (4.10)$$

Կատարելով նշված փոփոխությունները կստանանք.

$$\begin{aligned} Y &= B_0 + B_1(k_1 x_1 + c_1) + B_2(k_2 x_2 + c_2) + B_3(k_3 x_3 + c_3) + B_4(k_4 x_4 + c_4) + B_5(k_5 x_5 + c_5) + \\ &+ B_{11}(k_1^2 x_1^2 + 2k_1 c_1 x_1 + c_1^2) + B_{22}(k_2^2 x_2^2 + 2k_2 c_2 x_2 + c_2^2) + B_{33}(k_3^2 x_3^2 + 2k_3 c_3 x_3 + c_3^2) + \\ &+ B_{112}(k_1^2 x_1^2 + 2k_1 c_1 x_1 + c_1^2)(k_2 x_2 + c_2) + B_{122}(k_1 x_1 + c_1)(k_2^2 x_2^2 + 2k_2 c_2 x_2 + c_2^2) \Rightarrow \\ \Rightarrow Y &= B_0 + B_1 k_1 x_1 + B_1 c_1 + B_2 k_2 x_2 + B_2 c_2 + B_3 k_3 x_3 + B_3 c_3 + B_4 k_4 x_4 + B_4 c_4 + B_5 k_5 x_5 + B_5 c_5 + \\ &+ B_{11}(k_1^2 x_1^2 + 2k_1 c_1 x_1 + c_1^2) + B_{22}(k_2^2 x_2^2 + 2k_2 c_2 x_2 + c_2^2) + B_{33}(k_3^2 x_3^2 + 2k_3 c_3 x_3 + c_3^2) + \\ &+ B_{112}(k_1^2 x_1^2 + 2k_1 c_1 x_1 + c_1^2)(k_2 x_2 + c_2) + B_{122}(k_1 x_1 + c_1)(k_2^2 x_2^2 + 2k_2 c_2 x_2 + c_2^2) \Rightarrow \\ \Rightarrow Y &= B_0 + B_1 k_1 x_1 + B_1 c_1 + B_2 k_2 x_2 + B_2 c_2 + B_3 k_3 x_3 + B_3 c_3 + B_4 k_4 x_4 + B_4 c_4 + B_5 k_5 x_5 + B_5 c_5 + \\ &+ B_{11} k_1^2 x_1^2 + 2B_{11} k_1 c_1 x_1 + B_{11} c_1^2 + B_{22} k_2^2 x_2^2 + 2B_{22} k_2 c_2 x_2 + B_{22} c_2^2 + B_{33} k_3^2 x_3^2 + 2B_{33} k_3 c_3 x_3 + B_{33} c_3^2 + \\ &+ B_{112} k_1^2 k_2 x_1^2 x_2 + 2B_{112} k_1 k_2 c_1 x_1 x_2 + B_{112} k_2 c_1^2 x_2 + B_{112} k_1^2 c_2 x_1^2 + 2B_{112} k_1 c_1 c_2 x_1 + B_{112} c_1^2 c_2 + \\ &+ B_{122} k_1 k_2^2 x_1 x_2^2 + 2B_{122} k_1 k_2 c_2 x_1 x_2 + B_{122} k_1 c_2^2 x_1 + B_{122} k_2^2 c_1 x_2^2 + 2B_{122} k_2 c_1 c_2 x_2 + B_{122} c_1^2 c_2^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow Y &= B_0 + B_1 c_1 + B_2 c_2 + B_3 c_3 + B_4 c_4 + B_5 c_5 + B_{11} c_1^2 + B_{22} c_2^2 + B_{33} c_3^2 + B_{112} c_1^2 c_2 + B_{122} c_1 c_2^2 + \\ &+ B_1 k_1 x_1 + 2B_{11} k_1 c_1 x_1 + B_{122} k_1 c_2^2 x_1 + 2B_{112} k_1 c_1 c_2 x_1 + B_2 k_2 x_2 + 2B_{22} k_2 c_2 x_2 + B_{112} k_2 c_1^2 x_2 + \\ &+ 2B_{122} k_2 c_1 c_2 x_2 + B_3 k_3 x_3 + 2B_{33} k_3 c_3 x_3 + B_4 k_4 x_4 + B_5 k_5 x_5 + B_{11} k_1^2 x_1^2 + B_{112} k_1^2 c_2 x_1^2 + 2B_{112} k_1 k_2 c_1 x_1 x_2 + \\ &+ 2B_{122} k_1 k_2 c_2 x_1 x_2 + B_{22} k_2^2 x_2^2 + B_{122} k_2^2 c_1 x_2^2 + B_{33} k_3^2 x_3^2 + B_{112} k_1^2 k_2 x_1^2 x_2 + B_{122} k_1 k_2^2 x_1 x_2^2. \end{aligned} \quad (4.11)$$

(4.11) արտահայտությունը կարելի է ներկայացնել ավելի պարզ տեսքով

$$\begin{aligned} Y &= A_0 + A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + A_4 x_4 + A_5 x_5 + \\ &+ A_{11} x_1^2 + A_{12} x_1 x_2 + A_{22} x_2^2 + A_{33} x_3^2 + A_{112} x_1^2 x_2 + A_{122} x_1 x_2^2, \end{aligned} \quad (4.12)$$

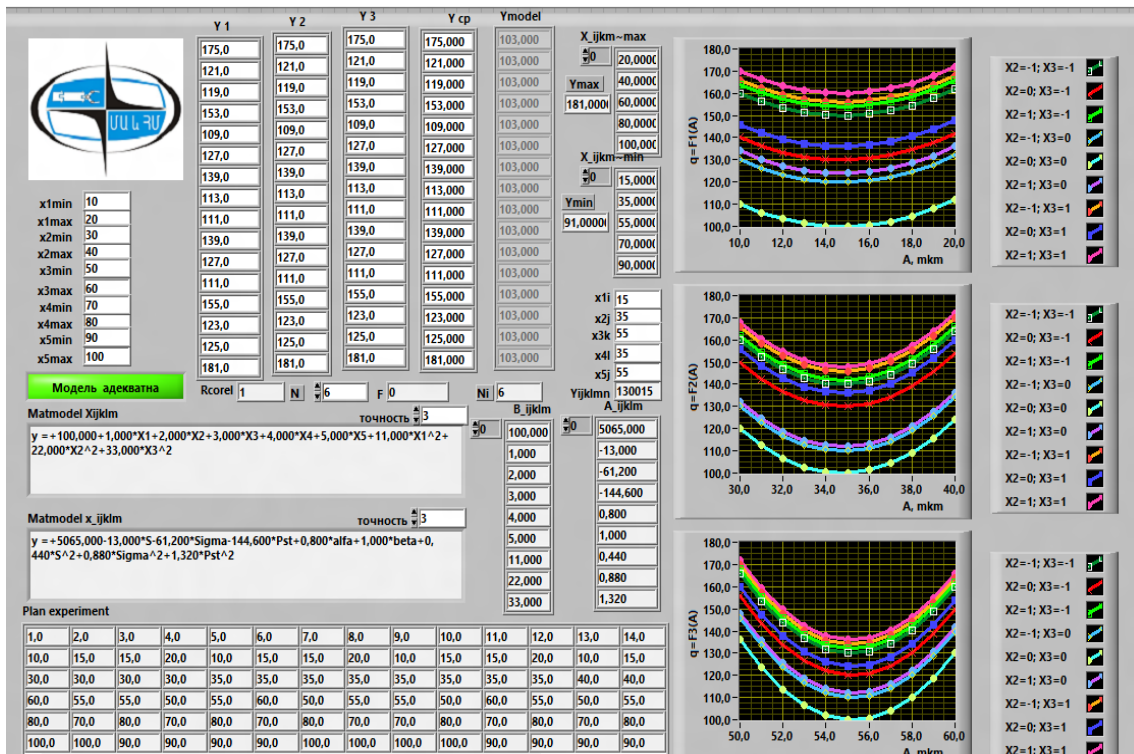
որտեղ

$$\begin{aligned} A_0 &= B_0 + B_1 c_1 + B_2 c_2 + B_3 c_3 + B_4 c_4 + B_5 c_5 + B_{11} c_1^2 + B_{22} c_2^2 + B_{33} c_3^2 + \\ &+ B_{112} c_1^2 c_2 + B_{122} c_1 c_2^2, \\ A_1 &= (B_1 + 2B_{11} c_1 + 2B_{112} c_1 c_2 + B_{122} c_2^2) K_1, \\ A_2 &= (B_2 + 2B_{22} c_2 + 2B_{122} c_1 c_2 + B_{112} c_1^2) K_2, \\ A_3 &= (2B_{33} c_3 + B_3) K_3, \\ A_4 &= B_4 K_4, \quad A_5 = B_5 K_5, \quad A_{11} = (B_{112} c_2 + B_{11}) K_1^2, \\ A_{12} &= 2(B_{112} c_1 + B_{122} c_2) K_1 K_2, \quad A_{22} = (B_{122} c_1 + B_{22}) K_2^2 \\ A_{33} &= B_{33} K_3^2, \quad A_{112} = B_{112} K_1^2 K_2, \quad A_{122} = B_{122} K_1 K_2^2 \end{aligned} \quad (4.13)$$

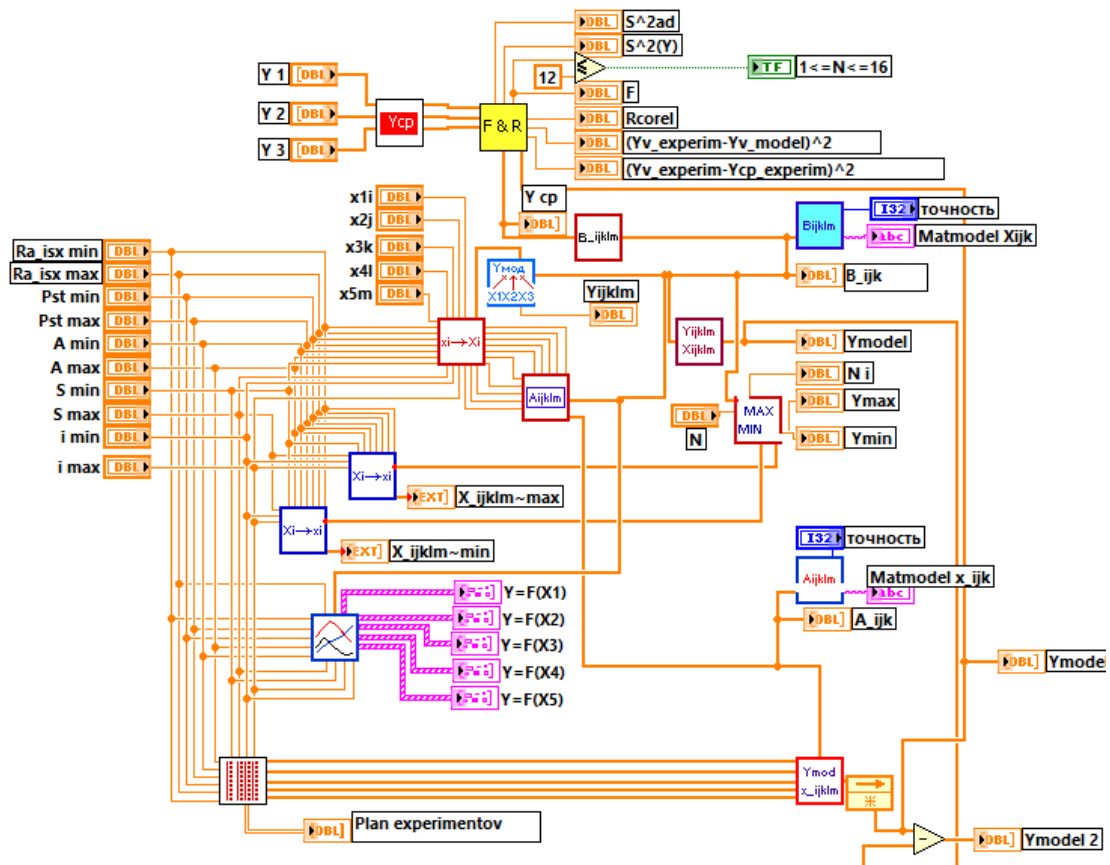
4.2. Հինգ-գործոնային տեխնոլոգիական գործընթացների մոդելավորման ծրագիրը LabVIEW միջավայրում

Տեսական արդյունքների հիման վրա մշակվել է LabVIEW-ի [95,122] միջավայրում հինգ-գործոնային տեխնոլոգիական գործընթացների մոդելավորման ծրագիրը: Ծրագիրը ըստ մուտքային պարամետրերի ստանում է մաթեմատիկական մոդել, ստուգում է մաթեմատիկական մոդելի ադեկվատությունը ըստ Ֆիշերի հայտանիշի, որոշում է կորելյացիայի գործակիցը, տալիս է մաթեմատիկական մոդելի առավելագույն ու նվազագույն արժեքները և փորձերի պլանը: Ծրագրի մուտքային պարամետրերն են հինգ գործոնները և փորձի արդյունքները, ընդ որում գործոններից երեքը քառակուսային են, իսկ երկուսը գծային: Մուտքագրվում են գործոնների փոփոխման միջակայքի վերին և ստորին սահմանները [17,18]:

Ծրագիրը բաղկացած է դիմային վահանակից և բլոկ-դիագրամայից, որոնք բերված են նկ.4.1-ում: Ըստ պլանի իրականացվում են փորձերը, փորձերի պլանը ցույց է տալիս թե տվյալ համարի փորձը մուտքային պարամետրերի ինչպիսի արժեքներով իրականացնել: Տվյալ կետում փորձը իրականացնելուց հետո չափվում է անհրաժեշտ պարամետրը (Y): Փորձերի իրականացման ժամանակ թույլ տրված սխալանքների նվազեցման համար փորձը տվյալ կետում կրկնվում է երեք անգամ և հետևաբար տվյալ կետում ստացվում է երեք փորձի արդյունք (Y1,Y2,Y3), որոնք նույնպես ծրագրի մուտքային պարամետրեր են: Ծրագիրը մեկ կետում ստացված երեք փորձի արդյունքների համար հաշվարկում է միջին թվաբանական (Yexp_cp), որի միջոցով հաշվարկվում է մաթեմատիկական մոդելը (Yexp_mod) [16-18]:



ա)



բ)

Նկ.4.1. Հինգ-գործոնային տեխնոլոգիական գործընթացի մոդելավորման ծրագրի ա) դիմային վահանակը և բ) բլոկ-դիագրաման

Ծրագիրը բաղկացած է տասնհինգ ենթածրագրերից, որոնց նկարագրությունը բերված է ստորև.

 Փորձերի պլանի գեներացում ենթածրագրի մուտքին մատուցվում են փոփոխական գործոնների վերին և ստորին մակարդակները ենթածրագիրը հաշվարկում է քառակուսային փոփոխականների միջին արժեքը և համաձայն փորձերի պլանի՝ միավորում բոլոր փոփոխական գործոնների ստորին, միջին ու վերին մակարդակները և համապատասխան ելքերը x_1 - x_5 զանգվածների տեսքով, որտեղ x_1 , x_2 , x_3 քառակուսային գործոնների ելքերն են, x_4 x_5 գծային գործոնների ելքերն են:

 Y_{cp} -ի հաշվարկման ենթածրագրի մուտքերը պլանի յուրաքանչյուր կետում երեք զուգահեռ փորձերի արդյունքներն են, ելքը՝ դրանց հաշվարկված միջին արժեքների զանգվածը:

 Y_{mod} -ի հաշվարկի ենթածրագիր. $X_iX_jX_kX_lX_m$ -ի ծածկագրերով թույլ է տալիս փոփոխական գործոնների ցանկացած արժեքների համար դրանց փոփոխական սահմաններում հաշվել ուսումնասիրվող պարամետրի հաստատված մեծությունը մաթեմատիկական մոդելի միջոցով: Որպես ծրագրի մուտքեր հանդես են գալիս փոփոխական $X_iX_jX_kX_lX_m$ գործոնները և մաթեմատիկական մոդելի ռեգրեսիայի հավասարման գործակիցների զանգվածը, իսկ որպես ելք՝ $X_iX_jX_kX_lX_m$ կետում մաթեմատիկական մոդելով ուսումնասիրվող պարամետրի մեծությունը:

 A_{ijklm} մշտական գործակիցների ենթածրագիր՝ մշակված A_{ijklm} գործակիցների զանգվածների որոշման համար, ներառում են $q_1, q_2, q_3, \dots, q_m$ փոփոխական գործոնների ղեկավարվող զանգվածները կողային միավորներով, որոնց միջոցով վերարտադրվում են դրանց զույգային փոխազդեցությունների բոլոր տեսակները, և հաշվի առնելով պլանը, ինչպես նաև փորձերի արդյունքները, որոշում են $A_0, A_i, A_{ij} \dots$ ռեգրեսիայի հավասարման գործակիցները:

 A_{ijklm} մշտական գործակիցների ենթածրագիր՝ մշակված A_{ijklm} գործակիցների զանգվածների որոշման համար, ներառում են k_i և C_i գործակիցները, որոնց միջոցով վերարտադրվում են դրանց զույգային փոխազդեցությունների բոլոր տեսակները, և

հաշվի առնելով պլանը, ինչպես նաև փորձերի արդյունքները, որոշում են $A_0, A_i, A_{ij} \dots$ ռեգրեսիայի հավասարման գործակիցները բնական արժեքներով:

 Y_{mod} -ի հաշվարկի ենթաձևագիր. $X_i X_j X_k X_l X_m$ -ի ծածկագրերով թույլ է տալիս փոփոխական գործոնների ցանկացած արժեքների համար դրանց փոփոխական սահմաններում հաշվել ուսումնասիրվող պարամետրի հաստատված մեծությունը մաթեմատիկական մոդելի միջոցով: Որպես ծրագրի մուտքեր հանդես են գալիս փոփոխական $X_i X_j X_k X_l X_m$ գործոնները և մաթեմատիկական մոդելի ռեգրեսիայի հավասարման գործակիցների զանգվածը, իսկ որպես ելք՝ $X_i X_j X_k X_l X_m$ կետում մաթեմատիկական մոդելով ուսումնասիրվող պարամետրի մեծությունը:

 ենթաձևագիրը նախատեսված է Ֆիշերի չափանիշի հաշվարկի և բազմակի կորելյացիայի R գործակցի համար: Մաթեմատիկական մոդելի ռեգրեսիայի հավասարման գործակիցների հաշվարկելուց հետո անհրաժեշտ է ստուգել նրա կիրառման պիտանելիությունը կամ այլ ասած ադեկվատությունը: Մաթեմատիկական մոդելի ադեկվատության որոշման համար բավական է նրա ելքի (Y_{exp_mod}) պարամետրի շեղումը փորձերի (Y_{exp_cp}) արդյունքների նկատմամբ գիտափորձի պլանի տարբեր կետերում: Դրա մուտքերն են պլանի յուրաքանչյուր կետում երեք զուգահեռ փորձերի արդյունքները և ուսումնասիրվող պարամետրի մեծությունները՝ հաշվարկված ստացված մաթեմատիկական մոդելի միջոցով: Հայտնի բանաձևերի հիման վրա ենթաձևագիրը ենթադրում է տողացի դիսպերսիաներ, վերաբրտադրման դիսպերսիա և համարժեքության դիսպերսիա, Ֆիշերի F չափանիշ և բազմակի կորելյացիայի R գործակից:

 $x_i x_j x_k x_l x_m$ -ը $X_i X_j X_k X_l X_m$ -ի ձևափոխելու ենթաձևագիրը կատարում է k_i և C_i գործակիցների հաշվարկ, կողային արժեքներից անցում բնական արժեքների:

 $x_i x_j x_k x_l x_m$ -ը $x_i x_j x_k x_l x_m$ -ի ձևափոխելու ենթաձևագիրը կատարում է կողային արժեքներից անցում բնական արժեքների:

 ենթաձևագրի միջոցով որոշվում են ստացված մաթեմատիկական մոդելի կետերը, որտեղ դրա անդրադարձն ունի նվազագույն և առավելագույն մեծություններ:



ենթածրագիրը փոփոխական գործոնների կոդային արժեքներով ռեգրեսիայի բանաձևերն էկրանի վրա արտածելու համար է:



ենթածրագիրը փոփոխական գործոնների բնական արժեքներով ռեգրեսիայի բանաձևերն էկրանի վրա արտածելու համար է:



ենթածրագրի միջոցով տրվում է ստացված արդյունքների գրաֆիկական պատկերը՝ ուսումնասիրվող գործընթացի կախվածությունների համապատասխան գրաֆիկների տեսքով:

4.3. Փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները

Ըստ փորձերի մաթեմատիկական պլանավորման մշակված եղանակի մակերևույթի որակական ցուցանիշների՝ R_a , R_z , R_{z_max} և H_{100} , h , U_H , U_h պարամետրի մաթեմատիկական մոդելը կոդային և բնական արժեքներով, կախված մուտքային հինգ փոփոխականներից, BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական զերծայնային տատանումներով զրտնակման դեպքում բերված են կոդային արժեքներով՝

$$R_a = 0.264 + 0.011X_1 - 0.032X_2 - 0.093X_3 + 0.009X_4 - 0.01X_5 + 0.035X_1^2 - 0.001X_2^2 + 0.141X_3^2 - 0.061X_1^2X_2 + 0.059X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.14)$$

$$R_z = 1.055 + 0.173X_1 - 0.13X_2 - 0.368X_3 + 0.036X_4 - 0.039X_5 + 0.138X_1^2 - 0.005X_2^2 + 0.565X_3^2 - 0.243X_1^2X_2 + 0.237X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.15)$$

$$R_{z_max} = 2.374 + 0.39X_1 - 0.292X_2 - 0.829X_3 + 0.08X_4 - 0.088X_5 + 0.311X_1^2 - 0.012X_2^2 + 1.271X_3^2 - 0.547X_1^2X_2 + 0.533X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.16)$$

$$H_{100} = 7893.917 - 37X_1 + 674.167X_2 + 143.417X_3 - 9.292X_4 + 34.292X_5 - 81.583X_1^2 + 130.417X_2^2 + 53.583X_3^2 - 86.833X_1^2X_2 + 36.167X_1X_2^2 \text{ MPa}, \quad (4.17)$$

$$h = 47.542 + 1.333X_1 + 11.25X_2 + 3.542X_3 - 0.562X_4 + 0.646X_5 - 0.542X_1^2 - 1.792X_2^2 + 0.958X_3^2 - 2.25X_1^2X_2 - 1.083X_1X_2^2 \text{ mkm} \quad (4.18)$$

$$U_H = 12.729 - 0.55X_1 + 9.617X_2 + 2.071X_3 - 0.14X_4 + 0.494X_5 - 1.129X_1^2 + 1.888X_2^2 + 0.821X_3^2 - 1.208X_1^2X_2 + 0.492X_1X_2^2 \%, \quad (4.19)$$

$$U_h = 19.031 - 1.271X_1 + 9.85X_2 + 1.74X_3 + 0.118X_4 + 0.595X_5 - 1.827X_1^2 + 0.869X_2^2 + 0.502X_3^2 - 0.696X_1^2X_2 + 0.046X_1X_2^2 \text{ MPa} / \text{mkm}, \quad (4.20)$$

բնական արժեքներով՝

$$R_a = 0.198 - 0.098R_{a_isx} + 0.008P_{st} - 0.062A + 0.45S - 0.01i + 0.096R_{a_isx}^2 - 0.002P_{st}^2 + 0.004A^2 - 0.001R_{a_isx}^2 P_{st} + 0.0R_{a_isx} P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.21)$$

$$R_z = 0.788 - 0.394R_{a_isx} + 0.032P_{st} - 0.25A + 1.792S - 0.039i + 0.386R_{a_isx}^2 - 0.008P_{st}^2 + 0.016A^2 - 0.002R_{a_isx}^2 P_{st} + 0.0R_{a_isx} P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.22)$$

$$R_{z_max} = 1.75 - 0.875R_{a_isx} + 0.072P_{st} - 0.562A + 4.021S - 0.088i + 0.867R_{a_isx}^2 - 0.018P_{st}^2 + 0.035A^2 - 0.005R_{a_isx}^2 P_{st} + 0.0R_{a_isx} P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.23)$$

$$H_{100} = 6957.012 - 205.259R_{a_isx} + 0.243P_{st} + 5.042A - 464.583S + 34.292i + 75.52R_{a_isx}^2 + 0.966R_{a_isx} P_{st} + 0.028P_{st}^2 + 1.572A^2 - 0.77R_{a_isx}^2 P_{st} + 0.01R_{a_isx} P_{st}^2 \text{ MPa}, \quad (4.24)$$

$$h = 28.159 - 19.407R_{a_isx} + 0.098P_{st} + 0.271A - 28.125S + 0.646i + 2.759R_{a_isx}^2 + 0.187R_{a_isx} P_{st} + 0.027P_{st}^2 - 0.02A^2 - 0.772R_{a_isx}^2 P_{st} + 0.00R_{a_isx} P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.25)$$

$$U_H = 0.129 - 2.963R_{a_isx} - 0.003P_{st} + 0.072A - 6.979S + 0.494i + 1.109R_{a_isx}^2 + 0.014R_{a_isx} P_{st} + 0.00P_{st}^2 - 0.023A^2 - 0.011R_{a_isx}^2 P_{st} + 0.00R_{a_isx} P_{st}^2 \%, \quad (4.26)$$

$$U_h = -3.621 - 1.151R_{a_isx} + 0.063P_{st} + 0.123A + 5.885S + 0.595i + 0.116R_{a_isx}^2 + 0.027R_{a_isx} P_{st} + 0.00P_{st}^2 + 0.014A^2 - 0.006R_{a_isx}^2 P_{st} + 0.00R_{a_isx} P_{st}^2 \text{ MPa / mkm}: \quad (4.27)$$

Ըստ փորձերի մաթեմատիկական պլանավորման մշակված եղանակի մակերևույթի որակական ցուցանիշների՝ R_a , R_z , R_{z_max} և H_{100} , h , U_H , U_h պարամետրի մաթեմատիկական մոդելը կողային և բնական արժեքներով, կախված մուտքային հինգ փոփոխականներից, BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական գերձայնային տատանումներով գրտնակման դեպքում բերված են կողային արժեքներով՝

Տարածական գերձայնային տատանումներով կատարված փորձարարական հետազոտությունների հիման վրա X18H9T մակնիշի չժանգոտվող պողպատը գրտնակման գործընթացում ստացվել են ստորև բերված R_a , R_z , R_{z_max} և H_{100} , h , U_H , U_h հետազոտվող պարամետրերի հետևյալ մաթեմատիկական մոդելները փոփոխական պարամետրերի կողային արժեքներով՝

$$R_a = 0.264 + 0.011X_1 - 0.032X_2 - 0.093X_3 + 0.009X_4 - 0.01X_5 + 0.035X_1^2 - 0.001X_2^2 + 0.141X_3^2 - 0.061X_1^2 X_2 + 0.059X_1 X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.28)$$

$$R_z = 1.055 + 0.173X_1 - 0.13X_2 - 0.368X_3 + 0.036X_4 - 0.039X_5 + 0.138X_1^2 - 0.005X_2^2 + 0.565X_3^2 - 0.243X_1^2 X_2 + 0.237X_1 X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.29)$$

$$R_{z_max} = 2.374 + 0.39X_1 - 0.292X_2 - 0.829X_3 + 0.08X_4 - 0.088X_5 + 0.311X_1^2 - 0.012X_2^2 + 1.271X_3^2 - 0.547X_1^2 X_2 + 0.533X_1 X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.30)$$

$$H_{100} = 7893.917 - 37X_1 + 674.167X_2 + 143.417X_3 - 9.292X_4 + 34.292X_5 - 81.583X_1^2 + 130.417X_2^2 + 53.583X_3^2 - 86.833X_1^2X_2 + 36.167X_1X_2^2 \text{ MPa}, \quad (4.31)$$

$$h = 47.542 + 1.333X_1 + 11.25X_2 + 3.542X_3 - 0.562X_4 + 0.646X_5 - 0.542X_1^2 - 1.792X_2^2 + 0.958X_3^2 - 2.25X_1^2X_2 - 1.083X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.32)$$

$$U_H = 12.729 - 0.55X_1 + 9.617X_2 + 2.071X_3 - 0.14X_4 + 0.494X_5 - 1.129X_1^2 + 1.888X_2^2 + 0.821X_3^2 - 1.208X_1^2X_2 + 0.492X_1X_2^2 \%, \quad (4.33)$$

$$U_h = 19.031 - 1.271X_1 + 9.85X_2 + 1.74X_3 - 0.118X_4 + 0.595X_5 - 1.827X_1^2 + 0.869X_2^2 + 0.502X_3^2 - 0.696X_1^2X_2 + 0.046X_1X_2^2 \%, \quad (4.34)$$

բնական արժեքներով՝

$$R_a = 0.198 - 0.098R_{a_isx} + 0.008P_{st} - 0.062A + 0.45S - 0.01i + 0.096R_{a_isx}^2 - 0.002P_{st}^2 + 0.004A^2 - 0.001R_{a_isx}^2P_{st} + 0.0R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.35)$$

$$R_z = 0.788 - 0.394R_{a_isx} + 0.032P_{st} - 0.25A + 1.792S - 0.039i + 0.386R_{a_isx}^2 - 0.008P_{st}^2 + 0.016A^2 - 0.002R_{a_isx}^2P_{st} + 0.0R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.36)$$

$$R_{z_max} = 1.75 - 0.875R_{a_isx} + 0.072P_{st} - 0.562A + 4.021S - 0.088i + 0.867R_{a_isx}^2 - 0.018P_{st}^2 + 0.035A^2 - 0.005R_{a_isx}^2P_{st} + 0.0R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.37)$$

$$H_{100} = 6957.012 - 205.259R_{a_isx} + 0.243P_{st} + 5.042A - 464.583S + 34.292i + 75.52R_{a_isx}^2 + 0.966R_{a_isx}P_{st} + 0.028P_{st}^2 + 1.572A^2 - 0.77R_{a_isx}^2P_{st} + 0.01R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ MPa}, \quad (4.38)$$

$$h = 28.159 - 19.407R_{a_isx} + 0.098P_{st} + 0.271A - 28.125S + 0.646i + 2.759R_{a_isx}^2 + 0.187R_{a_isx}P_{st} + 0.027P_{st}^2 - 0.02A^2 - 0.772R_{a_isx}^2P_{st} + 0.00R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.39)$$

$$U_H = 0.129 - 2.963R_{a_isx} - 0.003P_{st} + 0.072A - 6.979S + 0.494i + 1.109R_{a_isx}^2 + 0.014R_{a_isx}P_{st} + 0.00P_{st}^2 - 0.023A^2 - 0.011R_{a_isx}^2P_{st} + 0.00R_{a_isx}P_{st}^2 \%, \quad (4.40)$$

$$U_h = -3.621 - 1.151R_{a_isx} + 0.063P_{st} + 0.123A + 5.885S + 0.595i + 0.116R_{a_isx}^2 + 0.027R_{a_isx}P_{st} + 0.00P_{st}^2 + 0.014A^2 - 0.006R_{a_isx}^2P_{st} + 0.00R_{a_isx}P_{st}^2 \%, \quad (4.41)$$

Աղ.4. 2. BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքի տարածական գերձայնային տատանումներով գրտնակման ամրացման չափը և ամրացման գրադիենտը

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
U _H (%)	6,5	5,7	4,3	1,4	10	15,7	11,4	9,3	14,3	12,8	21,5	22,8	25,6	27,8
U _h (ՄՊա/մկմ)	11,8	11,1	9	3,3	16,8	21,2	17,8	13,8	20,1	18	27,6	28,5	31	31,6

Տարածական գերձայնային տատանումներով կատարված փորձարարական հետազոտությունների հիման վրա պողպատ 45 մակնիշի պողպատի գրտնակման

գործընթացում ստացվել են ստորև բերված R_a , R_z և R_{z_max} հետազոտվող պարամետրերի հետևյալ մաթեմատիկական մոդելները փոփոխական պարամետրերի կոդային արժեքներով՝

$$R_a = 0.309 + 0.064X_1 - 0.042X_2 - 0.117X_3 + 0.013X_4 - 0.013X_5 + 0.036X_1^2 - 0.007X_2^2 + 0.174X_3^2 - 0.061X_1^2X_2 + 0.057X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.42)$$

$$R_z = 1.236 + 0.253X_1 - 0.163X_2 - 0.469X_3 + 0.052X_4 - 0.05X_5 + 0.144X_1^2 - 0.028X_2^2 + 0.697X_3^2 - 0.248X_1^2X_2 + 0.232X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.43)$$

$$R_{z_max} = 2.473 + 0.507X_1 - 0.327X_2 - 0.94X_3 + 0.103X_4 - 0.1X_5 + 0.287X_1^2 - 0.053X_2^2 + 1.393X_3^2 - 0.493X_1^2X_2 + 0.467X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.44)$$

բնական արժեքներով՝

$$R_a = 0.392 - 0.102R_{a_isx} + 0.006P_{st} - 0.078A + 0.664S - 0.013i + 0.097R_{a_isx}^2 - 0.002P_{st}^2 + 0.005A^2 - 0.001R_{a_isx}^2P_{st} + 0.0R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.45)$$

$$R_z = 1.525 - 0.417R_{a_isx} + 0.026P_{st} - 0.311A + 2.604S - 0.05i + 0.395R_{a_isx}^2 - 0.0P_{st}^2 + 0.019A^2 - 0.002R_{a_isx}^2P_{st} + 0.0R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.46)$$

$$R_{z_max} = 2.961 - 0.788R_{a_isx} + 0.053P_{st} - 0.621A + 5.167S - 0.1i + 0.785R_{a_isx}^2 - 0.015P_{st}^2 + 0.039A^2 - 0.004R_{a_isx}^2P_{st} + 0.0R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.47)$$

Տարածական գերձայնային տատանումներով կատարված փորձարարական հետազոտությունների հիման վրա IIIX15 մակնիշի պողպատի գրտնակման գործընթացում ստացվել են ստորև բերված R_a , R_z և R_{z_max} հետազոտվող պարամետրերի հետևյալ մաթեմատիկական մոդելները փոփոխական պարամետրերի կոդային արժեքներով՝

$$R_a = 0.184 + 0.037X_1 - 0.027X_2 - 0.071X_3 + 0.009X_4 - 0.008X_5 + 0.02X_1^2 - 0.008X_2^2 + 0.102X_3^2 - 0.033X_1^2X_2 + 0.037X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.48)$$

$$R_z = 0.71 + 0.144X_1 - 0.107X_2 - 0.26X_3 + 0.04X_4 - 0.024X_5 + 0.065X_1^2 + 0.016X_2^2 + 0.38X_3^2 - 0.106X_1^2X_2 + 0.133X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.49)$$

$$R_{z_max} = 1.2 + 0.245X_1 - 0.179X_2 - 0.463X_3 + 0.062X_4 - 0.053X_5 + 0.125X_1^2 + 0.052X_2^2 + 0.67X_3^2 - 0.217X_1^2X_2 + 0.237X_1X_2^2 \text{ mkm}, \quad (4.50)$$

բնական արժեքներով՝

$$R_a = 0.392 - 0.102R_{a_isx} + 0.006P_{st} - 0.078A + 0.664S - 0.013i + 0.097R_{a_isx}^2 - 0.002P_{st}^2 + 0.005A^2 - 0.001R_{a_isx}^2P_{st} + 0.0R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.51)$$

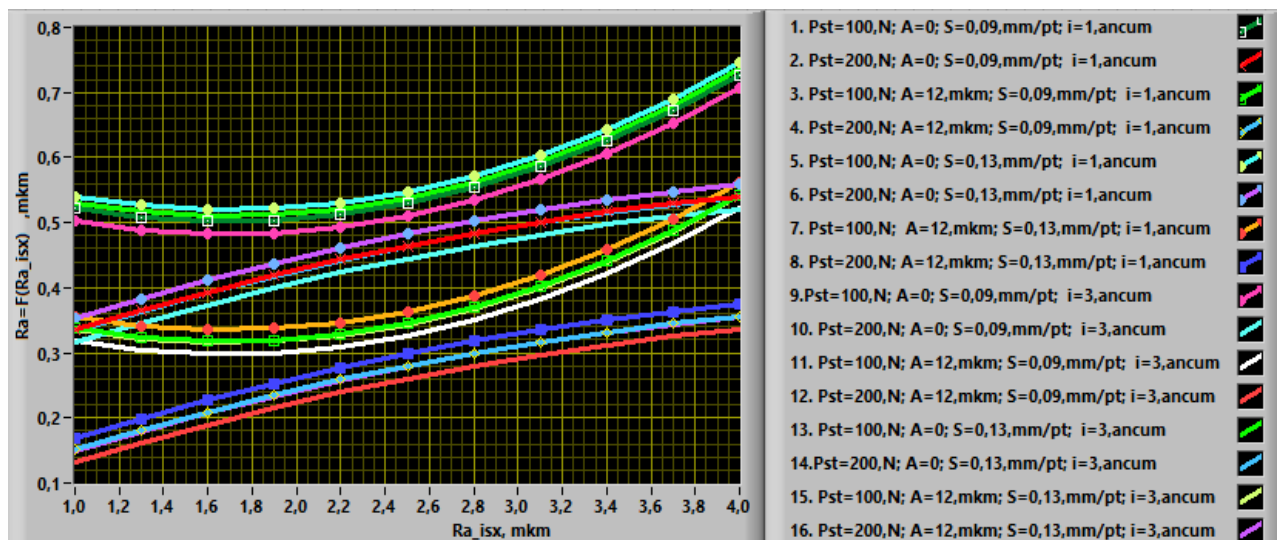
$$R_z = 0.773 - 0.074R_{a_isx} + 0.013P_{st} - 0.17A + 2.01S - 0.024i + 0.169R_{a_isx}^2 - 0.0P_{st}^2 + 0.011A^2 - 0.001R_{a_isx}^2P_{st} + 0.0R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.52)$$

$$R_{z_max} = 1.304 - 0.139R_{a_isx} + 0.025P_{st} - 0.301A + 3.083S - 0.053i + 0.344R_{a_isx}^2 - 0.0P_{st}^2 + 0.019A^2 - 0.002R_{a_isx}^2P_{st} + 0.0R_{a_isx}P_{st}^2 \text{ mkm}, \quad (4.53)$$

4.4. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ելակետային խորդուբորդությունների (R_{a_isx}) ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա

Մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշներից ուսումնասիրվել են R_a , R_z , R_{z_max} և H_{100} , h , U_H , U_h , որոնցից R_a , R_z , R_{z_max} մակերևութային շերտի խորդուբորդությունները բնութագրող պարամետրեր են, իսկ H_{100} , h , U_H , U_h մեքենամասի շահագործական հատկությունները բնութագրող ցուցանիշներն են:

Նկ.4.2-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով ստացված խորդուբորդությունների R_a պարամետրի կախումը ելակետային խորդուբորդություններից R_{a_isx} ՝ $R_a=f(R_{a_isx})$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:

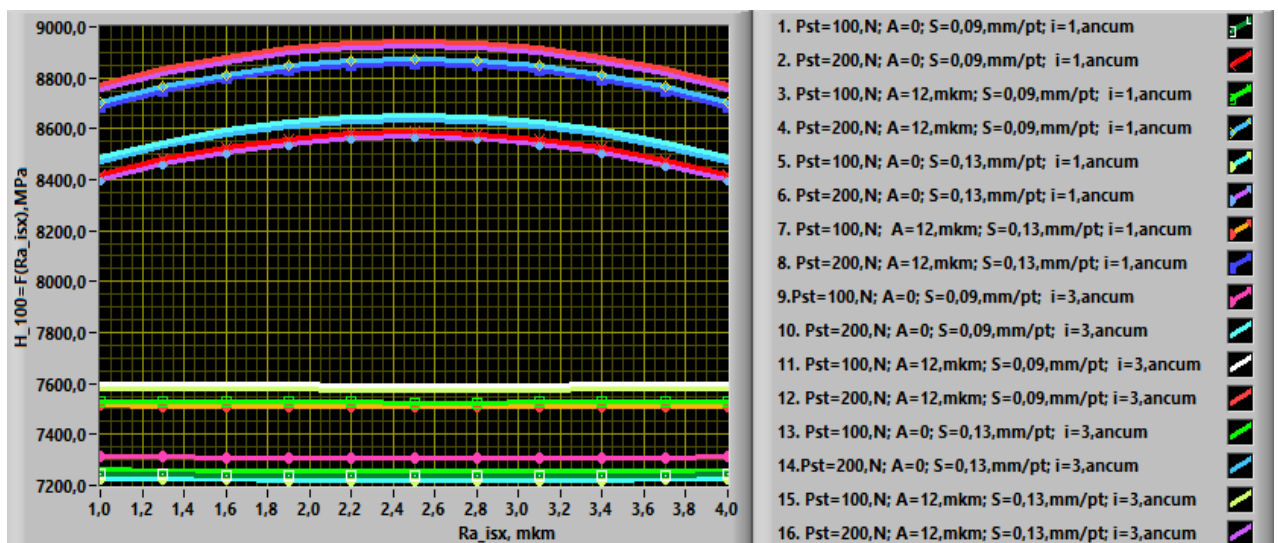


Նկ.4.2. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ելակետային խորդուբորդությունների ազդեցությունը խորդուբորդությունների վրա(BT5)

Նկ.4.2-ից երևում է, որ առաջանում են երկու բնույթի կորերի փունջ՝ ուռուցիկ և գոգավոր: Գոգավոր կորերի փնջերը առաջանում են 100Ն ուժի պայմաններում, իսկ ուռուցիկները 200Ն ուժի պայմաններում: Ինչպես երևում է գրաֆիկից առաջանում են նույն բնույթի երկու կորերի փունջ, ինչը պայմանավորված է գերձայնի ազդեցությամբ: Այսինքն գերձայնային տատանումների պայմաններում կորերի բնույթը պահպանվում են, սակայն խորդուբորդությունները էականորեն նվազում են:

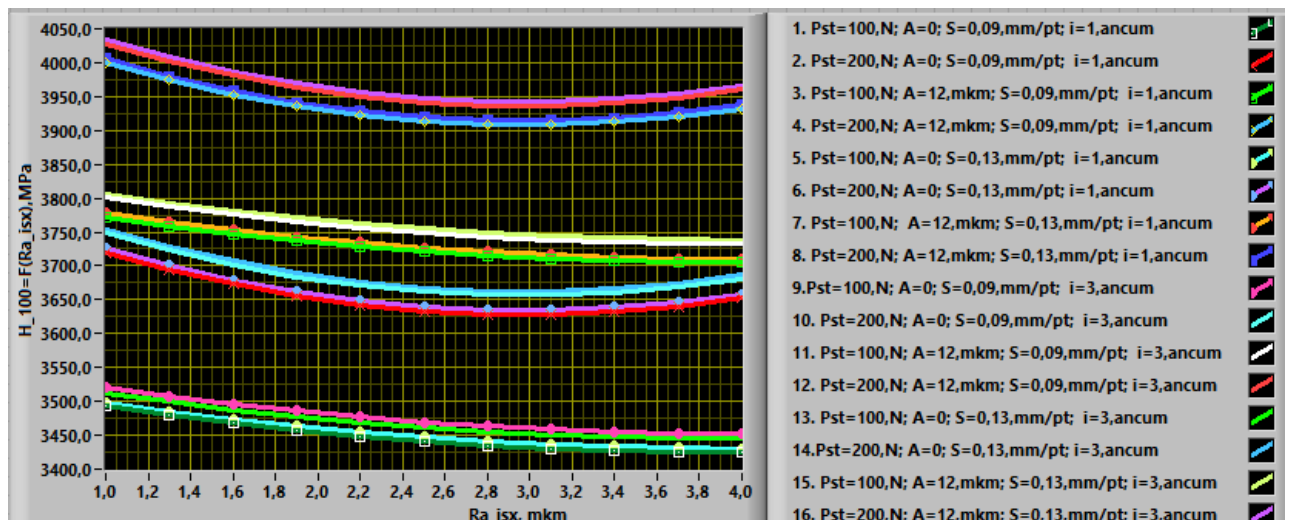
Ուսումնասիրվող մուտքային փոփոխականներից մատուցման մեծացումը, տրված միջակայքում, բերում է խորդուբորդությունների մեծացման, իսկ անցումների թվի մեծացումը բերում է խորդուբորդությունների մեծացման: Նույն պայմանների դեպքում տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացը հնարավորություն է տվել մակերևութային շերտի խորդուբորդությունները մոտ 2,5 անգամ նվազեցնել: Կարևոր է նաև այն, որ գերձայնային տատանումների կիրառումը հնարավորություն է տալիս ավելի մեծ ելակետային խորդուբորդություններով մակերևութային շերտ գրտնակել՝ ստանալով անհրաժեշտ խորդուբորդություններով մակերևութային շերտ: 0,3մկմ Ra ստանալու համար 200Ն ուժի դեքում առանց գերձայնային տատանումների գրտնակման ժամանակ անհրաժեշտ է նախնական մշակմամբ ապահովել մոտ 1մկմ ելակետային խորդուբորդություններով մակերևութային շերտ: Գերձայնային տատանումների կիրառմամբ նույն պայմաններով գրտնակման դեպքում անհրաժեշտ է նախնական մշակմամբ ապահովել մոտ 4մկմ ելակետային խորդուբորդություններով մակերևութային շերտ: Գերձայնային տատանումների կիրառումը թույլ է տալիս գրտնակել ավելի մեծ ելակետային խորդուբորդություններով մակերևութային շերտ: Այսինքն գրտնակման գործընթացը իրականացնել կիսամաքրատաշ մշակումից հետո:

Նկ.4.3-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված միկրոկարծրության H_{100} կախումը ելակետային խորդուբորդություններից Ra_{isx} ՝ $H_{100}=f(Ra_{isx})$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



Նկ.4.3. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ելակետային խորդուբորդությունների ազդեցությունը միկրոկարծրության վրա (BT5)

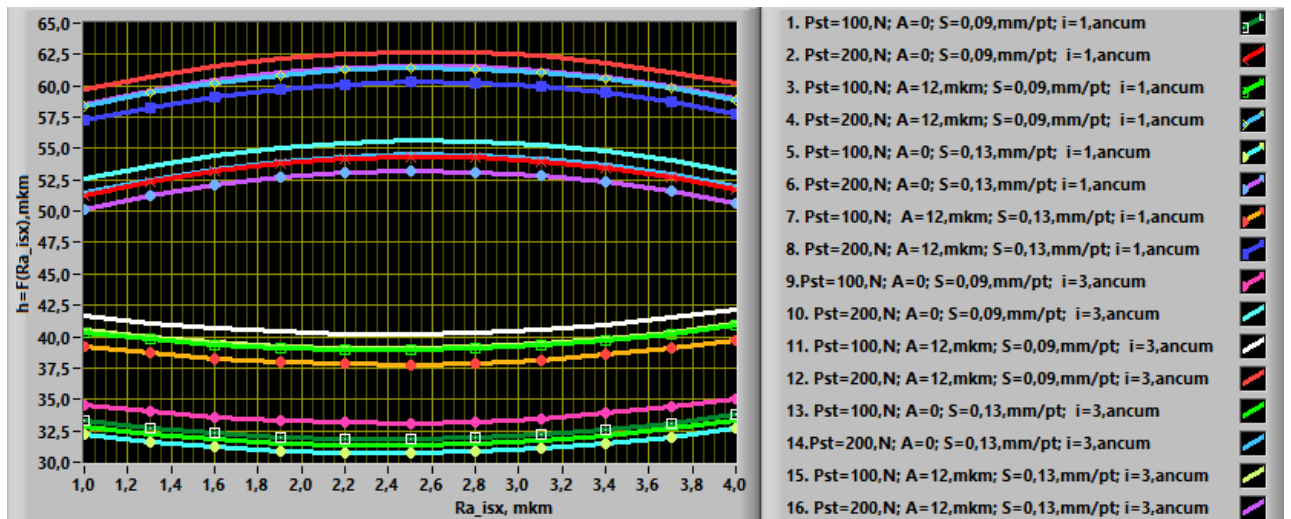
Նկ.4.3-ից երևում է, որ 100Ն-ի դեպքում ուսումնասիրվող միջակայքում ելակետային խորդուբորդությունները չեն ազդում միկրոկարծրության վրա, իսկ գերձայնային տատանումների կիրառումը բերում է միկրոկարծրության աճ: Ուսումնասիրվող մուտքային փոփոխականները մատուցման փոքրացումը տրված միջակայքում բերում է միկրոկարծրության մեծացման, անցումների թվի մեծացումը նույնպես բերում է միկրոկարծրության մեծացման: 200Ն-ի դեպքում կորերն ստացվում են զոգավոր և միկրոկարծրության նվազագույն արժեք ստացվում է ելակետային խորդուբորդությունների 2,8 մկմ արժեքի դեպքում: Գերձայնային տատանումների կիրառումը բերում է միկրոկարծրության աճ, իսկ կորերի բնույթը պահպանվում է:



Նկ.4.4. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ելակետային խարդուբորդությունների ազդեցությունը միկրոկարծրության վրա (X18H9T)

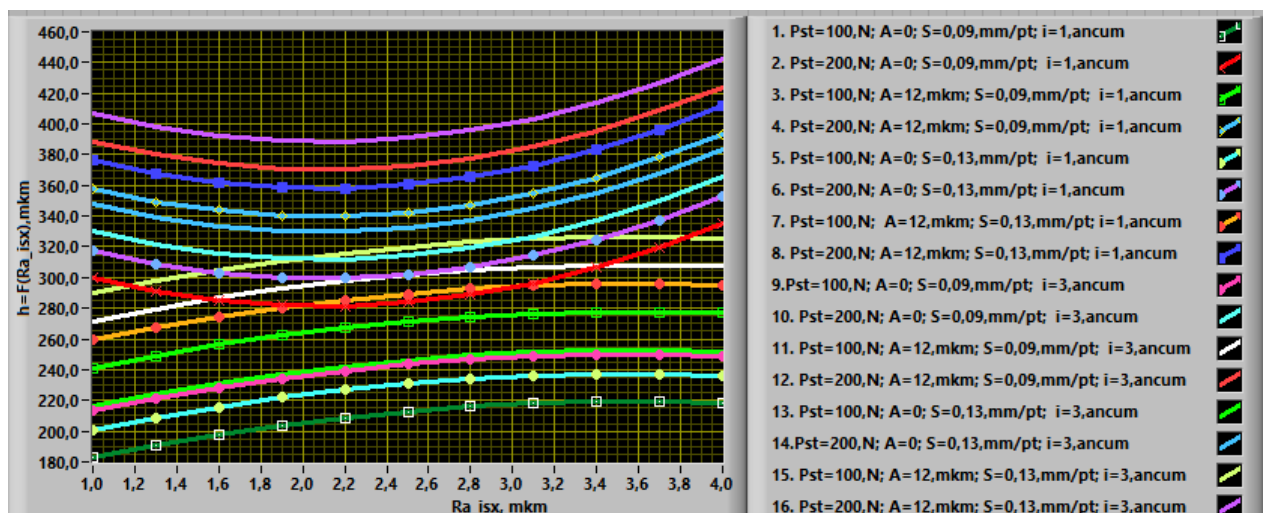
X18H9T չժանգոտվող պողպատի մշակման ժամանակ (նկ.4.4) փոխվում է կորերի բնույթը, սակայն պահպանվում են ազդող ստատիկ ուժի և գերձայնային տատանման ազդեցությունները: Այս դեպքում առավելագույն միկրոկարծրություն ստացվում է ելակետային խորդուբորդությունների նվազագույն արժեքի դեպքում:

Նկ.4.5-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված ամրացված շերտի խորության կախումը ելակետային խորդուբորդություններից Ra_{isx} ՝ $h=f(Ra_{isx})$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



Նկ.4.5. Տարածական ԳՁՏ գրտնական գործընթացում ելակտեային խտրողությունների ազդեցությունը ամրացված շերտի խորության վրա(BT5)

Ամրացված շերտի խորության վրա ազդող հիմնական գործոններն են ազդող ստատիկ ուժը և տատանման ամպլիտուդը: 100Ն-ի դեպքում առաջանում է երկու կորերի փունջ: Իսկ գերձայնային տատանումները բերում են ամրացված շերտի խորացում, ամրացված շերտի խորությունն առավելագույն արժեք մոտ 42,5մկմ ստացվում է՝ 4մկմ ելակետային խորողությունների դեպքում: 200Ն ուժի դեպքում փոխվում է նաև կորերի բնույթը և առավելագույն ամրացված շերտի խորություն 62,5մկմ ստացվում է 2,5մկմ ելակետային խորողությունների դեպքում, իսկ մշակման ռեժիմներն են A=12մկմ, S=0,09մմ/պտ, i=3 անցում:

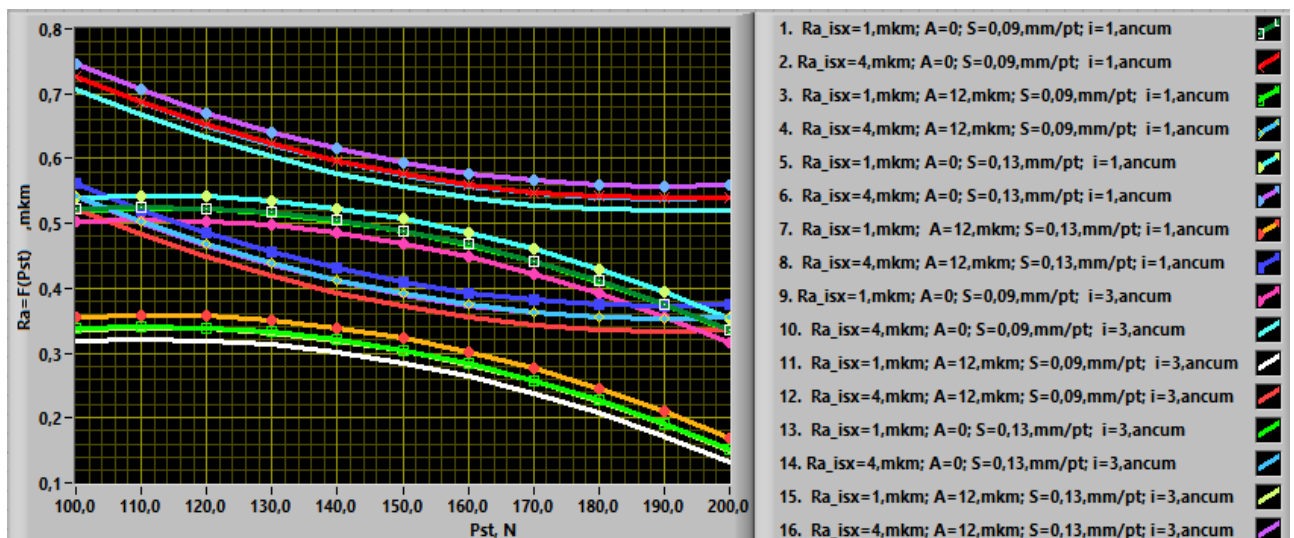


Նկ.4.6. Տարածական ԳՁՏ գրտնական գործընթացում ելակտեային խտրողությունների ազդեցությունը ամրացված շերտի խորության վրա(X18H9T)

Նյութի հատկությունների փոփոխմանը զուգընթաց փոխվում է նաև ելակետային խորդուբորդությունների ազդեցությունը ամրացված շերտի խորության վրա: X18H9T չժանգոտվող պողպատի մշակման ժամանակ 100Ն-ի դեպքում ելակետային խորդուբորդությունների աճը բերում է ամրացված շերտի խորության աճ, իսկ 200Ն-ի դեպքում ելակետային խորդուբորդությունների աճը մինչև 2մկմ բերում է ամրացված շերտի խորության նվազման, իսկ դրանից հետո ելակետային խորդուբորդությունների աճը բերում է ամրացված շերտի խորության աճ: Նյութի պլաստիկության մեծացման զուգընթաց մեծանում է մատուցման և անցումների թվի ազդեցությունը: Գրաֆիկից երևում է նաև, որ 100Ն ուժի պայմաններում գերձայնային տատանումների կիրառմամբ հնարավոր է ստանալ մոտավորապես նույն ամրացված շերտի խորությունը, ինչը որ ստացվում է 200Ն-ի պայմաններում՝ առանց գերձայնային տատանումների, նույն ելակետային խորդուբորդությունների դեպքում:

4.5. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ուժի (Pst) ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա

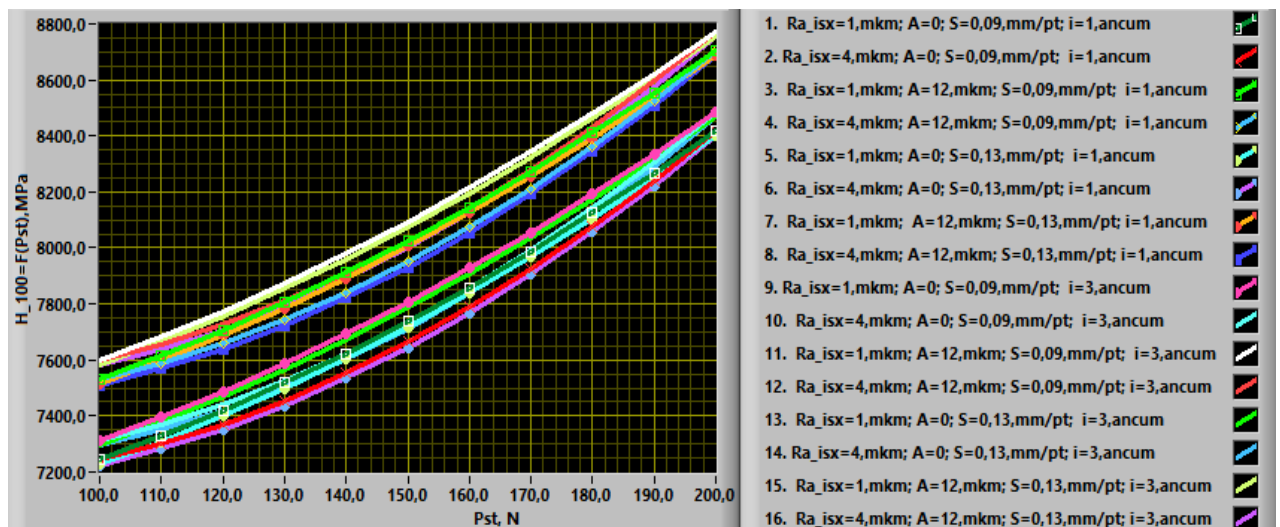
Նկ.4.7-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված խորդուբորդությունների Ra պարամետրի կախումը ազդող ստատիկ ուժից Pst ՝ $Ra=f(Pst)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



Նկ.4.7. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ուժի ազդեցությունը մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների վրա (BT5)

Ընդհանրապես ազդող ստատիկ ուժն այն հիմնական գործոններից մեկն է, որն ազդում է մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա: Ուսումնասիրվող միջակայքում ազդող ստատիկ ուժի մեծացումը բերում է խորդուբորդությունների նվազման: Գերձայնային տատանումների ազդեցությունը փոխում է կորերի բնույթը: Առանց գերձայնի ուժի մեծացումը բերում է խորդուբորդությունների նվազման ազդող ուժի մինչև 170Ն մեծացման դեպքում, իսկ դրանից հետո ուժի մեծացումը չի ազդում խորդուբորդությունների վրա: Գերձայնային տատանումների պայմաններում ուժի մեծացումը ուսումնասիրվող միջակայքում բերում է խորդուբորդությունների մոնոտոն նվազման: Անցումների թվի մեծացումը տրված միջակայքում բերում է խորդուբորդությունների նվազման: Այս դեպքում ավելի մեծ ազդեցություն ունի ելակետային խորդուբորդությունները:

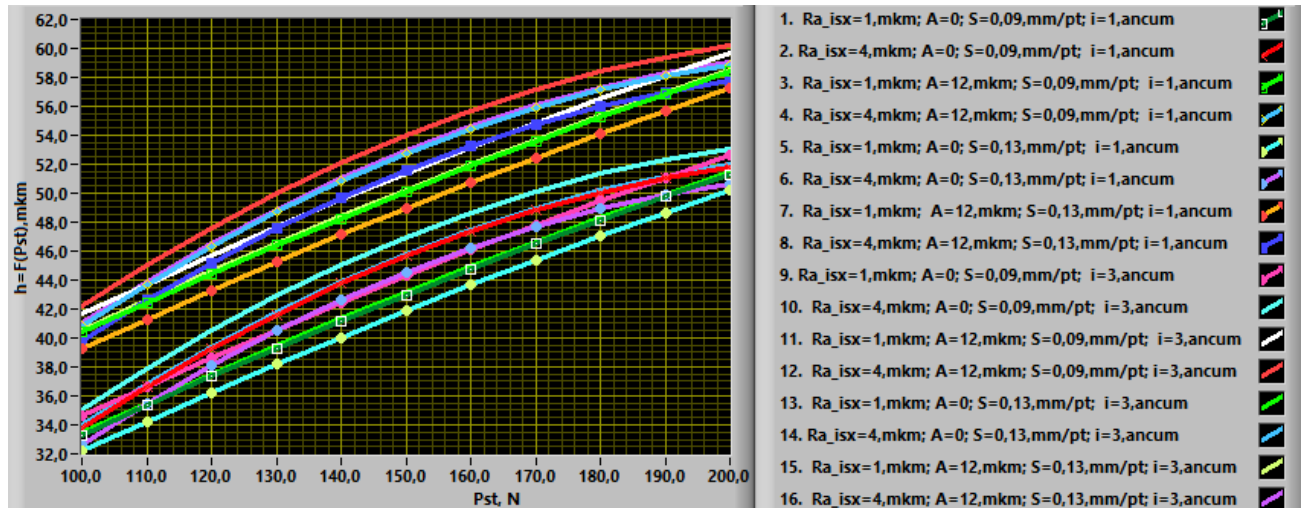
Նկ.4.8-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված միկրոկարծրության H_{100} կախումը ազդող ստատիկ ուժից $P_{st} \rightarrow H_{100}=f(P_{st})$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



Նկ.4.8. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ուժի ազդեցությունը մակերևութային շերտի միկրոկարծրության վրա (BT5)

Ուժի մեծացումը բերում է միկրոկարծրության աճ: Միկրոկարծրության վրա զգալի ազդեցություն ունի գերձայնային տատանումները, կորերի երկու փունջը պայմանավորված է հենց գերձայնային տատանումներով: Այսինքն գերձայնային տատանումները հնարավորություն են տալիս ազդող ստատիկ ուժի նույն արժեքի դեպքում ստանալ ավելի մեծ միկրոկարծրությամբ մակերևութային շերտ:

Նկ.4.9-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված ամրացված շերտի խորության h կախումը ազդող ստատիկ ուժից P_{st} ՝ $h=f(P_{st})$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:

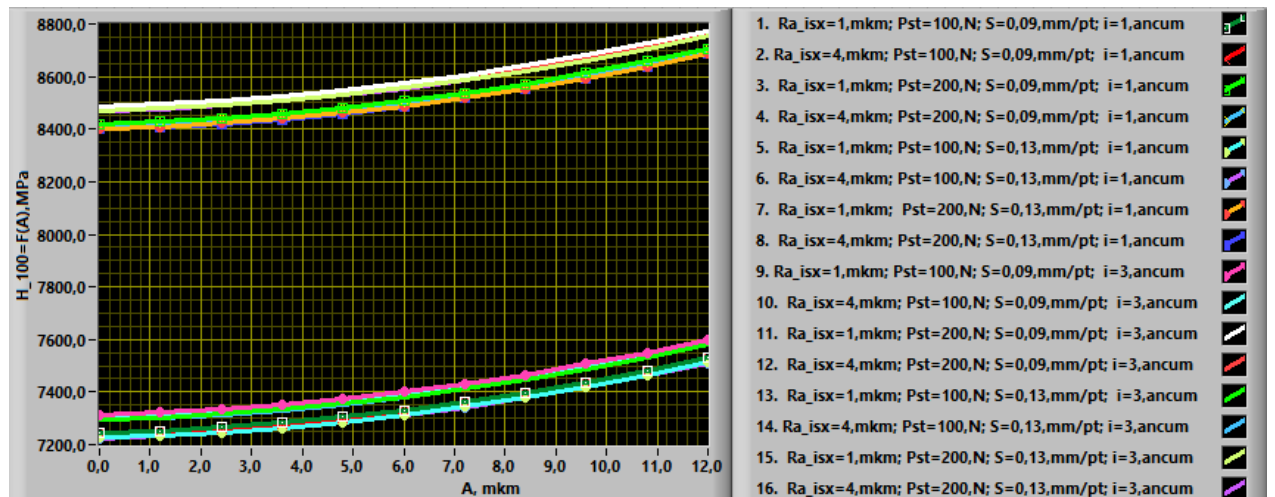


Նկ.4.9. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում ուժի ազդեցությունը մակերևութային ամրացված շերտի խորության վրա (BT5)

Ուժի մեծացումը բերում է ամրացված շերտի խորության մեծացում: Ամրացված շերտի խորության վրա զգալի ազդեցություն ունի գերձայնային տատանումները, կորերի երկու փունջը պայմանավորված է հենց գերձայնային տատանումներով: Այսինքն գերձայնային տատանումները հնարավորություն են տալիս ազդող ստատիկ ուժի նույն արժեքի դեպքում ստանալ մակերևութային ամրացված շերտի խորության ավելի մեծ արժեքներ: Ամրացված շերտի առավելագույն խորություն՝ 60մկմ ստացվում է հետևյալ ռեժիմների դեպքում՝ $Ra_{isx}=4$ մկմ, $A=12$ մկմ, $S=0,09$ մմ/պտ, $i=3$ անցում, երբ ուժը առավելագույն արժեքն ունի:

4.6. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում տատանման ամպլիտուդի (A) ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա

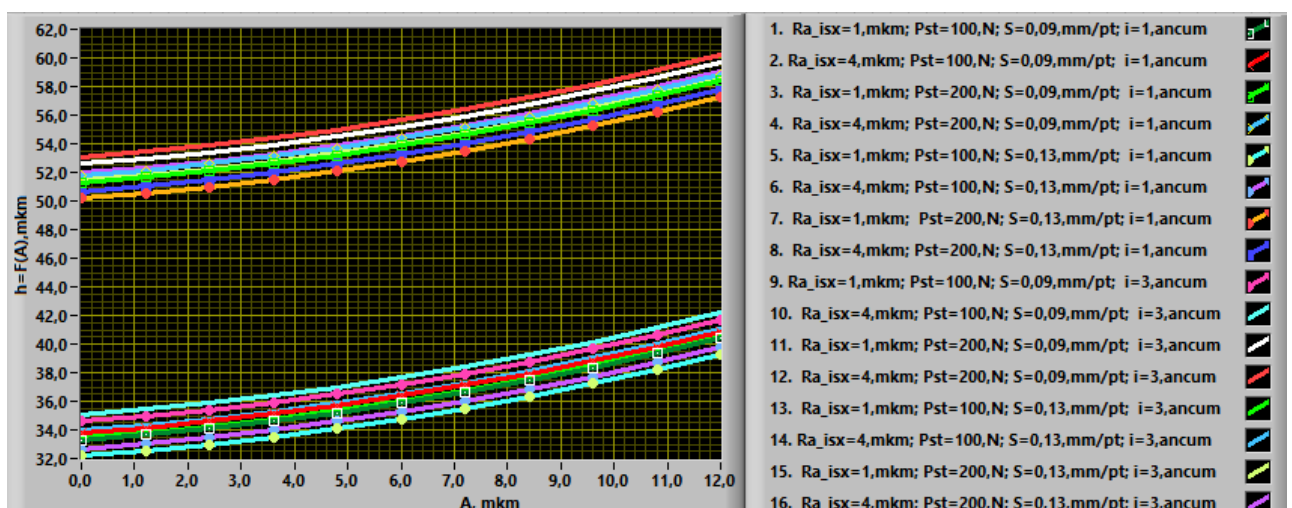
Նկ.4.10-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված խորդուբորդությունների Ra պարամետրի կախումը տատանման ամպլիտուդից A ՝ $Ra=f(A)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



Նկ.4.11. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում տատանման ամպլիտուդի ազդեցությունը մակերևութային շերտի միկրոկրոկարծրության վրա(BT5)

Միկրոկարծրության վրա զգալի ազդեցություն ունի գերձայնային տատանումները: Կորերի երկու փունջը պայմանավորված է ազդող ստատիկ ուժով: Այս դեպքում անկախ մշակման ռեժիմներից տատանման ամպլիտուդի մեծացումը բերում է միկրոկարծրության աճի: Այսինքն գերձայնային տատանումները հնարավորություն են տալիս ազդող ստատիկ ուժի նույն արժեքի դեպքում ստանալ ավելի մեծ միկրոկարծրությամբ մակերևութային շերտ: Չնայած նրան, որ առավելագույն միկրոկարծրությամբ մակերևութային շերտ ստացվում է մեծ ուժերի դեպքում, գերձայնային տատանումների ազդեցությունը ավելի մեծ է փոքր ուժերի դեպքում:

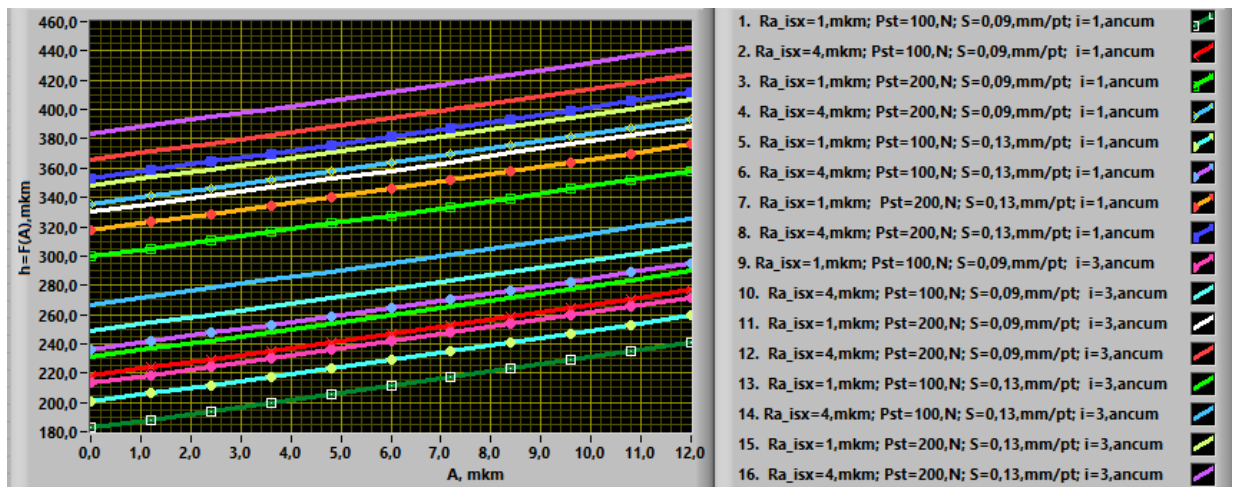
Նկ.4.12-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված ամրացված շերտի խորության h կախումը տատանման ամպլիտուդից $A \quad h=f(A)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



Նկ.4.12. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում տատանման ամպլիտուդի ազդեցությունը մակերևութային ամրացված շերտի խորության վրա (BT5)

Առաջանում է երկու կորերի փունջ, որը պայմանավորված է ազդող ստատիկ ուժով: Տատանման ամպլիտուդի մեծացումը ուսումնասիրվող միջակայքում բերում է ամրացված շերտի խորության մեծացման:

Նկ.4.13-ում բերված է X18H9T մակնիշի չժանգոտվող պողպատը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված ամրացված շերտի խորության հ կախումը տատանման ամպլիտուդից $A' \quad h=f(A)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



Նկ.4.13. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում տատանման ամպլիտուդի ազդեցությունը մակերևութային ամրացված շերտի խորության վրա (X18H9T)

Այս դեպքում տատանման ամպլիտուդի ազդեցությունը ամրացման խորության վրա դառնում է գծային: Քանի որ նյութը ավելի պլաստիկ է համեմատած տիտանի հետ, մեծանում են նաև ելակետային խորդուբորդությունների, մատուցման և անցումների թվի ազդեցությունը: Ամրացված շերտի առավելագույն խորություն ստացվում է հետևյալ ռեժիմների դեպքում՝ $Ra_{isx}=4$ կմ, $Pst=200$ Ն, $S=0,13$ մմ/պտ, $i=3$ անցում, երբ տատանման ամպլիտուդը 12 մկմ արժեքն ունի:

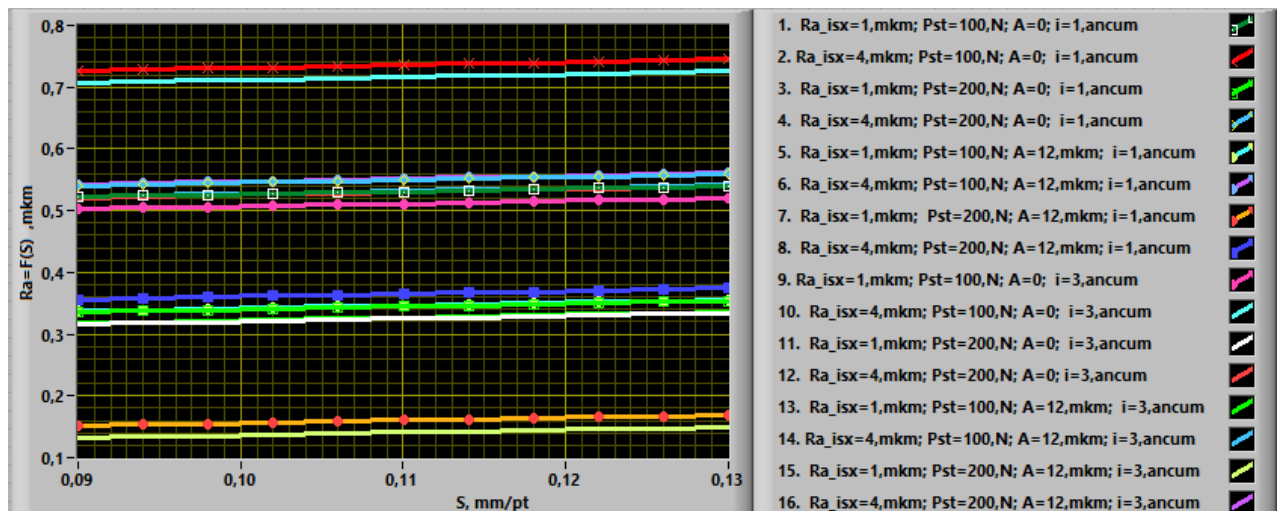
4.7. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում մատուցման (S)

ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա

Ընդհանրապես, որքան փոքր է մատուցումը, այնքան փոքր է գրտնակվող մակերևույթի խորդուբորդությունների բարձրությունը: Սակայն, մատուցման փոքրացումը բերում է մակերևութային խորդուբորդությունների փոքրացում մինչև

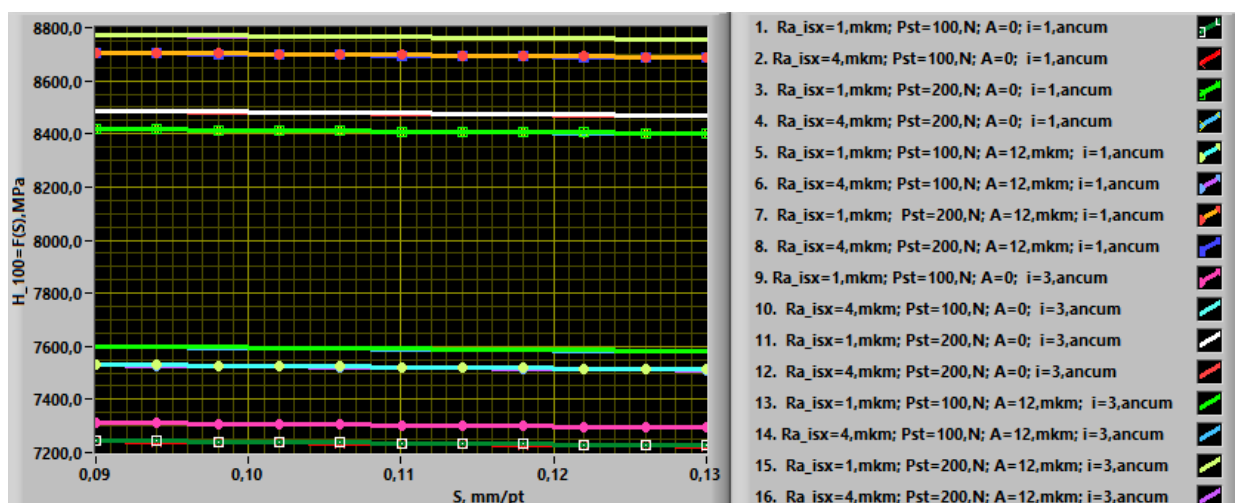
որոշակի սահման: Կրկնվող դեֆորմացիաների թվի թույլատրելի սահմանն անցնելու հետևանքով առաջանում է գերմակակոփում:

Նկ.4.14. -ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված խորդուբորդությունների R_a պարամետրի կախումը մատուցումից S ՝ $R_a=f(S)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



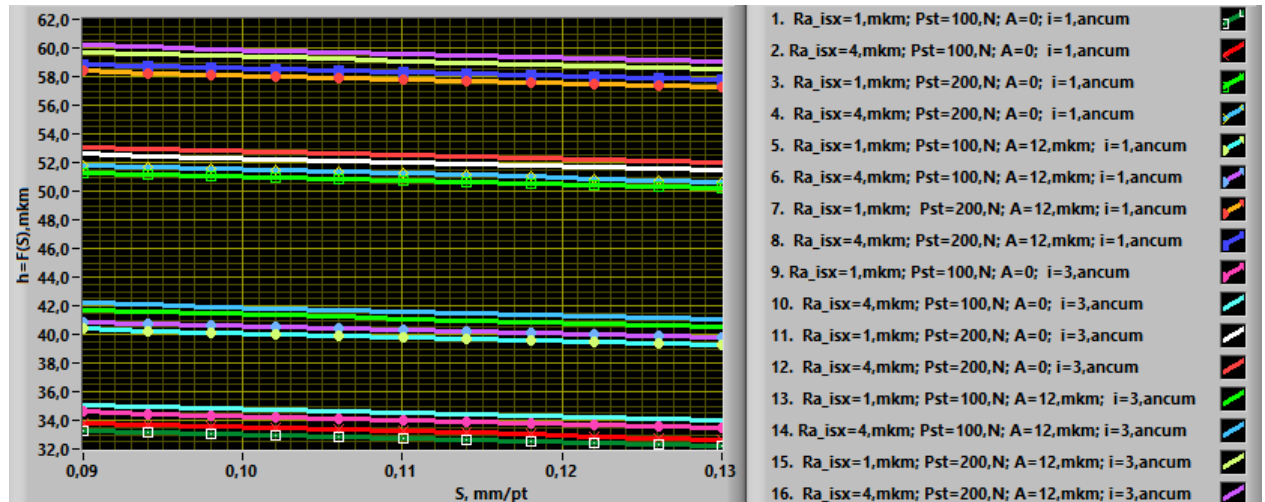
Նկ.4.14. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում մատուցման ազդեցությունը մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների վրա(BT5)

Նկ.4.15. -ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված միկրոկարծրության H_{100} կախումը մատուցումից S ՝ $H_{100}=f(S)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



Նկ.4.15. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում մատուցման ազդեցությունը մակերևութային շերտի միկրոկարծրության վրա(BT5)

Նկ.4.16-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված ամրացված շերտի խորության h կախումը մատուցումից S ՝ $h=f(S)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



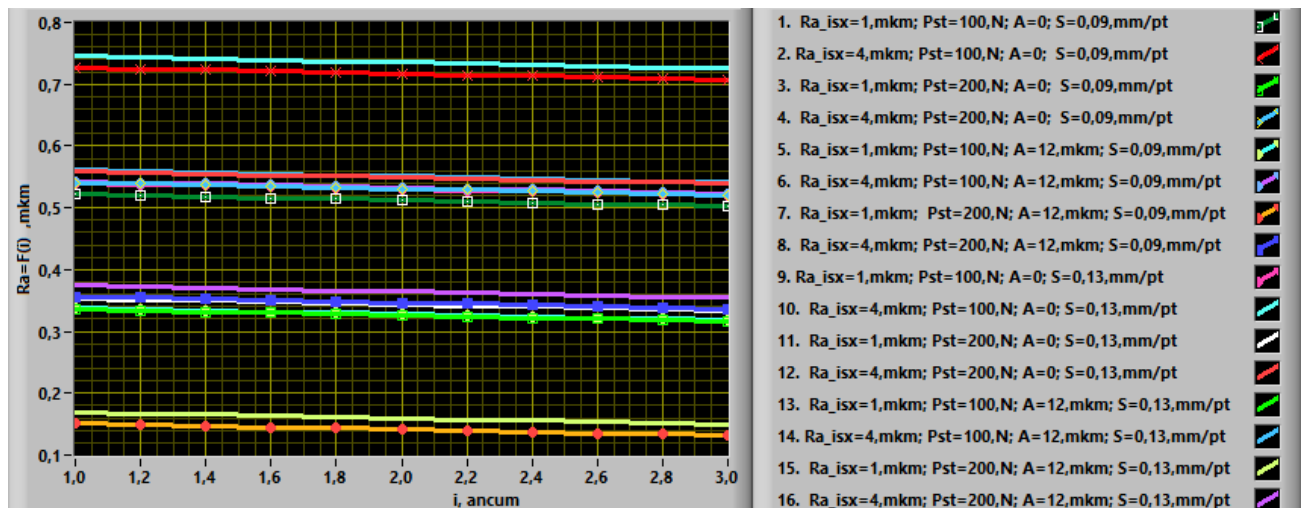
Նկ.4.16. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում մատուցման ազդեցությունը մակերևութային ամրացված շերտի խորության վրա(BT5)

4.8. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում անցումների թվի (i)

ազդեցությունը մակերևութային շերտի որակական ցուցանիշների վրա

Անցումների թվի առավելագույն ազդեցություն խորդուբորդությունների վրա նկատվում է առաջին անցման ժամանակ, իսկ երկրորդ, երրորդ անցումները ավելի բարելավվում են մակերևութային շերտի վիճակը՝ մակերևութային շերտի խորդուբորդությունները նվազում են, ամրացման չափը և ամրացված շերտի խորությունը մեծանում է:

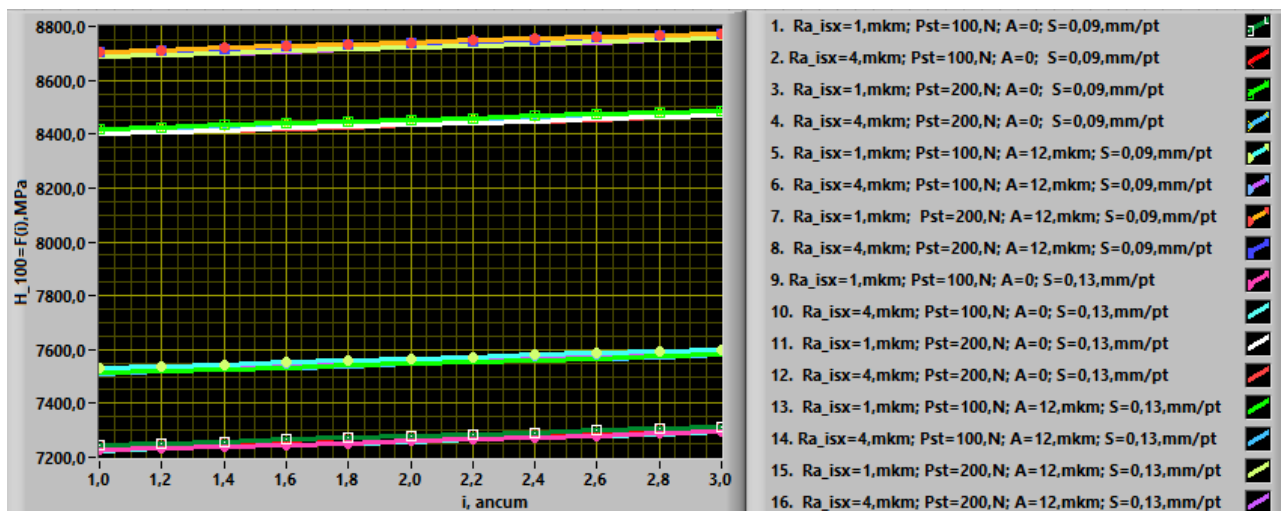
Նկ.4.17-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված խորդուբորդությունների Ra պարամետրի կախումը անցումների թվից i ՝ $Ra=f(i)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում:



Նկ.4.17. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում անցումների թվի ազդեցությունը մակերևութային շերտի խարդուբորությունների վրա(BT5)

Ինչպես երևում է գրաֆիկից անցումների թվի մեծացումը բերում է խորդուբորությունների նվազման:

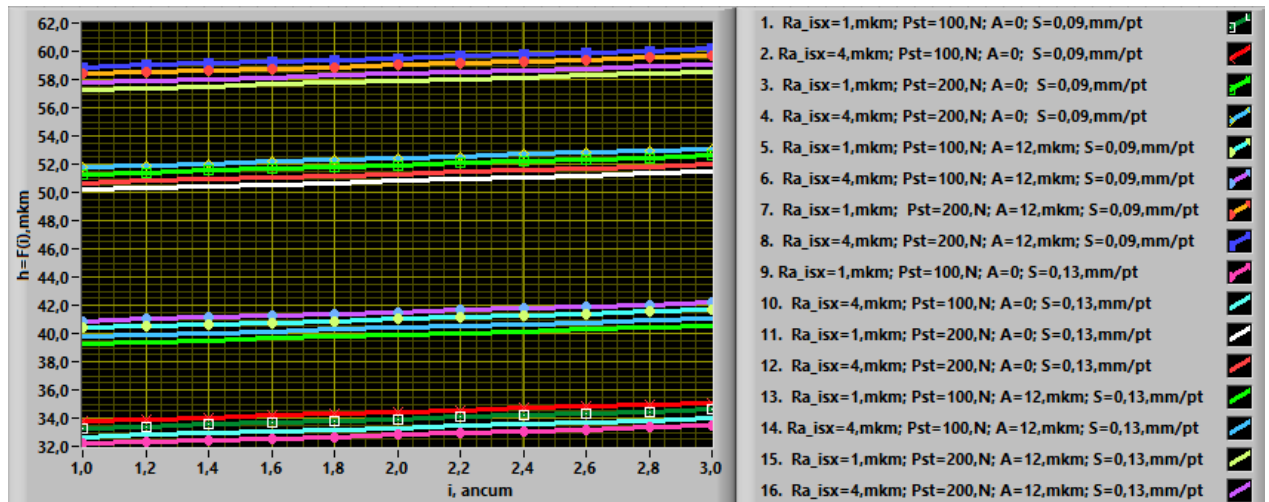
Նկ.4.18-ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված միկրոկարծրության H_{100} կախումը անցումների թվից i ՝ $H_{100}=f(i)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների տարբեր արժեքների դեպքում: Նկ.4.18-ից երևում է, որ անցումների թվի մեծացումը բերում է միկրոկարծրության աճ:



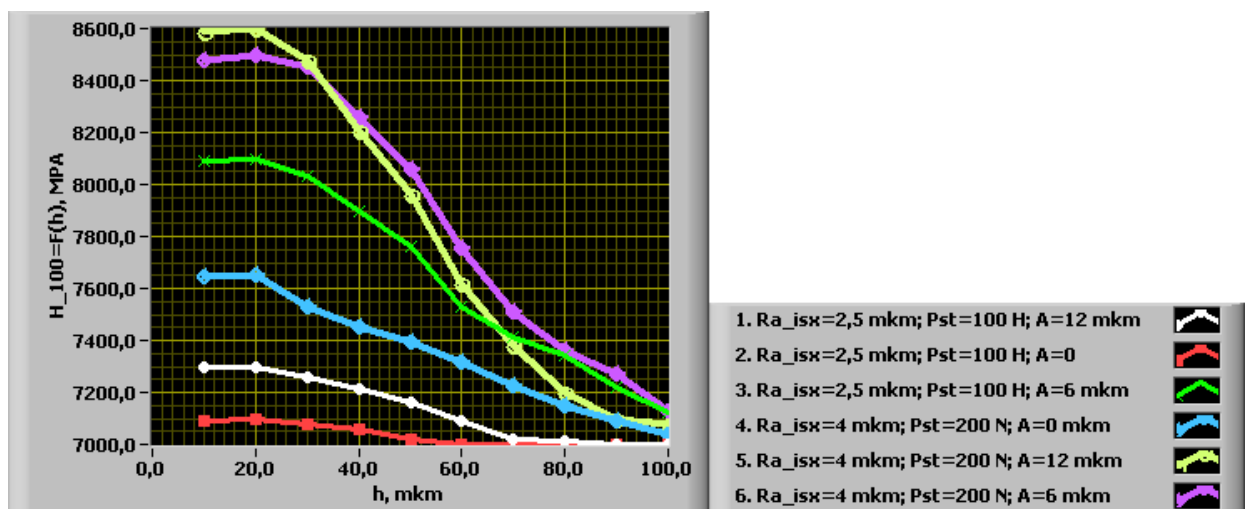
Նկ.4.18. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում անցումների թվի ազդեցությունը մակերևութային շերտի միկրոկարծրության վրա(BT5)

Նկ.4.19. -ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված ամրացված շերտի խորության h կախումը անցումների թվից i ՝ $h=f(i)$, որը դիտարկվել է մուտքային փոփոխականների

տարբեր արժեքների դեպքում: Նկ.4.19.-ից երևում է, որ անցումների թվի մեծացումը բերում է ամրացված շերտի խորության աճ:



Նկ.4.19. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում անցումների թվի ազդեցությունը մակերևութային ամրացված շերտի խորության վրա(BT5)



Նկ.4.20. Տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում միկրոկարծրության բաշխումը ըստ խորության $H_{100}=f(h)$, (BT5)

Նկ.4.20. -ում բերված է BT5 մակնիշի տիտանային համաձուլվածքը տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացով մշակումից ստացված միկրոկարծրության բաշխումը ըստ խորության:

4.9. Եզրակացություններ

1. Մշակված է ԳՁՏ-ի կիրառմամբ մակերևույթների պլաստիկ դեֆորմացման գրտնակման գործընթացի նկարագրման մաթեմատիկական նոր մոդել, որը հնարավորություն է տալիս նրա հայտնաբերումը հինգ փոփոխական

գործոնների համար, այնպես, որ առաջին երեք պարամետրերը կրում են քառակուսային բնույթ՝ նրանց գծային փոխադեցությունների հաշվառմամբ, մյուս երկուսը՝ գծային:

2. Մշակված է ԳՁՏ-ի կիրառմամբ մակերևութների պլաստիկ դեֆորմացման գրտնակման գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի հայտնաբերման ծրագիր LabVIEW-ի միջավայրում, որը թույլ է տալիս ըստ փորձերի մուտքագրված արդյունքների սիմվոլային տեսքով տալ նրա նկարագրման մաթեմատիկական արտահայտությունը, որոշել այդ մոդելի ադեկվատությունը և նրա մեծագույն ու փոքրագույն արժեքների ապահովման ռեժիմները, գրաֆիկորեն կառուցել հետազոտվող պարամետրերի կախվածությունները փոփոխական գործոններից:
3. Ելակետային խորդուբորդությունների ազդեցության ուսումնասիրությունը մակերևութային շերտի խորդուբորդությունների վրա ցույց է տվել, որ 0,3մկմ Ra ստանալու համար 200Ն ուժի դեքում առանց գերձայնային տատանումների գրտնակման ժամանակ անհրաժեշտ է նախնական մշակմամբ ապահովել մոտ 1մկմ ելակետային խորդուբորդություններով մակերևութային շերտ: Գերձայնային տատանումների կիրառմամբ նույն պայմաններով գրտնակման դեպքում անհրաժեշտ է նախնական մշակմամբ ապահովել մոտ 4մկմ ելակետային խորդուբորդություններով մակերևութային շերտ: Այսինքն գրտնակման գործընթացը իրականացնել կիսամաքրատաշ մշակումից հետո:
4. Գերձայնային տատանումները հնարավորություն են տալիս գրտնակման ուժի նույն արժեքի դեպքում ստանալ ավելի մեծ միկրոկարծրությամբ մակերևութային շերտ: Ուժի մեծացումը բերում է ամրացված շերտի խորության մեծացում:
5. Նվազագույն խորդուբորդություններով մակերևութային շերտ ստացվում է տատանման ամպլիտուդի 8մկմ արժեքի դեպքում: Ուսումնասիրվող միջակայքում տատանման ամպլիտուդի մեծացումը բերում է միկրոկարծրության և ամրացված շերտի խորության աճի:
6. Ուսումնասիրվող միջակայքում մատուցման փոքրացումը և անցումների թվի մեծացումը բերում են չնչին խորդուբորդությունների նվազում և միկրոկարծրության աճի:

ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Առաջարկվել և հետազոտվել է ԳՁՏ-ի կիրառմամբ գրտնակման նոր եղանակ (ՀՀ թիվ 3006 A արտոնագիր), որը իրականացվում է գրտնակման գործընթացի համագոր ուժի ուղղությամբ ինդենտորի առանցքով ԳՁՏ-ի հաղորդմամբ:
2. Տեսականորեն հիմնավորված է, որ շառավղային ԳՁՏ գրտնակման դեպքում XՕՉ հարթության մեջ առաջանում են «թվացող» լայնական և ուժեղացված ԳՁՏ, որի ամպլիտուդը կախված է ինդենտորի սֆերիկ մասի շառավղից և ներխրման չափից:
3. Տեսականորեն հիմնավորված է, որ ԳՁՏ գրտնական որոշակի ռեժիմների դեպքում ինդենտորը ամբողջությամբ պոկվում է մշակվող դետալից, ապացուցվել է, որ այդ տևողությունը համագոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ գրտնակման դեպքում միշտ մեծ է շառավղային ԳՁՏ գրտնակման համեմատ, ինչը թույլ է տալիս նվազեցնել ուժը 1,2...1,6 անգամ: Համագոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ գրտնակման դեպքում ուժը միշտ ուղղված է դեպի ինդենտորի մարմինը, ինչի հետևանքով բարձրանում է ինդենտորի դինամիկական կայունությունը:
4. Տեսականորեն և փորձնականորեն հիմնավորված է, որ համագոր ուժի ուղղությամբ ԳՁՏ գրտնակման ժամանակ մեկ պարբերության ընթացքում աշխատանքային և պարապ ընթացքների տևողության հավասարության պայմանի դեպքում հնարավորություն է ստեղծվում բարձրացնել արագությունը 1,4 և ավելի անգամ շառավղային ԳՁՏ գրտնակման համեմատ, հետևաբար նաև արտադրողականությունը:
5. Մշակված է տարածական ԳՁՏ գրտնակման գործընթացի խորդուբորդությունների հաշվարկման տեսական արտահայտություն և ծրագիր LabVIEW միջավայրում, որը կարող է կիրառվել նաև ավանդական գրտնակման դեպքում: Մշակվել է նաև ծրագիր, որը հաշվարկում է ԳՁՏ գրտնակման գործընթացում աշխատանքային և պարապ ընթացքների տևողությունը:
6. Մշակվել են գերձայնային մագնիսակծկման փոխակերպիչների պատրաստման երկու եղանակներ (ՀՀ թիվ 3004 A և թիվ 3005 A արտոնագրեր), որոնք թույլ են տալիս բարձրացնել գերձայնային տրանսֆորմատորի և խտարարի միջև զոդման ամրությունը:

7. Փորձարարական հետազոտությունների իրականացման և արդյունքների մշակման համար ստեղծվել է գերձայնային գրտնակման գործընթացի նկարագրման մաթեմատիկական մոդել, որը թույլ է տալիս նրա հայտնաբերումը քառակուսային կախվածությամբ նմուշների ելակետային խորդուբորդություններից, գրտնակման ստատիկ ուժից, ԳՁՏ-ի ամպլիտուդից, ինչպես նաև գծային կախվածությամբ գրտնակման մատուցումից և անցումների թվից:
8. Փորձնականորեն հիմնավորված է, որ գերձայնային տատանումների կիրառմամբ գրտնակման դեպքում հնարավոր է նույն մակերևութային խորդուբորդությունները ապահովել ավել մեծ ելակետային խորդուբորդություններով մակերևութային շերտի գրտնակմամբ: Գերձայնային տատանումների կիրառումը հնարավորություն է տալիս գրտնակման ուժի նույն արժեքի դեպքում ստանալ ավելի մեծ միկրոկարծրությամբ մակերևութային շերտ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Բալասանյան Բ.Ս., Բալասանյան Ա.Բ., Գուլոյան Կ.Խ., Խաչատրյան Ն.Հ. Մագնիսակծկման գերձայնային կերպարափոխիչի պատրաստման եղանակ // Լրաբեր գիտական հոդվածների ժողովածու. 2 մասով. Մաս 2. ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) -Եր: Ճարտարագետ. 2014. էջ.347-352.
2. Բալասանյան Բ.Ս., Բալասանյան Ա.Բ., Խրիստաֆորյան Ս.Շ., Խաչատրյան Ն.Հ., Ղարայան Ա.Վ. Անդրաձայնային կերպափոխիչի ակուստիկական համակարգի պատրաստման եղանակ: ՀՀ թիվ 3004 Ա արտոնագիր. 6էջ: Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր №03/1 2016, էջ. 6:
3. Բալասանյան Բ.Ս., Բալասանյան Ա.Բ., Խրիստաֆորյան Ս.Շ., Խաչատրյան Ն.Հ., Ղարայան Ա.Վ. Անդրաձայնային կերպափոխիչի ակուստիկական համակարգի պատրաստման եղանակ. 6էջ: ՀՀ թիվ 3005 Ա արտոնագիր: Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր №03/1 2016, էջ.6:
4. Բալասանյան Բ.Ս., Կոխլիկյան Ս.Ա., Ղարայան Ա.Վ.. Երկրորդ կարգի բազմագործոն գիտափորձի պլանավորման վերաբերյալ // Հայաստանի Ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր. - Երևան, 2008. – Հատոր 5, N2. – էջ 226-232:
5. Խաչատրյան Ն.Հ. Գերձայնային գրտնակման գործընթացի սարքավորումներ // Լրաբեր գիտական հոդվածների ժողովածու. 2 մասով. Մաս 2. ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) -Եր: Ճարտարագետ. 2014. էջ.353-356.
6. Խաչատրյան Ն.Հ., Բալասանյան Բ.Ս., Բալասանյան Ա.Բ., Խրիստաֆորյան Ս.Շ., Փարիկյան Ֆ.Հ., Բաբայան Ա.Ս. Անդրաձայնային գրտնակման եղանակ. 6էջ: ՀՀ թիվ 3006 Ա արտոնագիր. Արդյունաբերական սեփականություն: Պաշտոնական տեղեկագիր №03/1 2016, էջ.7:
7. Նազարյան Է. Ա. Ձևագոյացման տեսական հիմունքները/ ուսումնական ձեռնարկ/ Երևան Ճարտարագետ 2014 է. 103:
8. Փարիկյան Ֆ.Հ., Բաբայան Ա.Ս. Մակերևութաամրացնող գործընթացներ և պատվածքներ/ գործնական պարապմունքների մեթոդական ցուցումներ ԵՐԵՎԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԵՏ 2014 66 էջ:

9. Փարիկյան Ֆ.Հ., Բաբայան Ա.Ս. Մակերևութների պլաստիկ դեֆորմացման գրունակման գործընթացի արդյունավետությունը տարբեր տեխնոլոգիական միջավայրերում/ ուսումնական ձեռնարկ ԵՐԵՎԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԵՏ 2011 67 էջ:
10. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.—М.: Наука, 1976, 279 с.
11. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой / Б. М. Аскинази. М.: Машиностроение, 1989. 200с.
12. Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – Киев: Наук. Думка, 1988.–240с.
13. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей машин / А. П. Бабичев. –М.: Машиностроение, 1974. 136 с.
14. Баласанян А.Б. Повышение эффективности процесса эмульгирования наложением колебательных полей: Автореф. дис. канд. техн. наук. Ереван – 2006 23 с.
15. Баласанян А.Б., Акопян Х.Н., Акопян Л.А., Мелконян Р.Н. Модернизированная программа для моделирования трех факторных экстремальных технологических процессов / Технологии и техника автоматизации - 2009 // Сборник трудов международной научно-технической конференции в г. Ереване. – Ереван: ГИУА. - 2010. – с. 155-160. ISBN 966-7909-23-6
16. Баласанян А.Б., Прейс В.В., Гараян А.В., Акопян Х.Н. Упрощенная математическая модель для описания экстремальных технологических процессов / Լրաբեր գիտական հոդվածների ժողովածու 2 մասով/ ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) Մաս 2/ -Եր: 2015. 7 էջ: 333-339
17. Баласанян Б. С. Способ определения математической модели объекта в виде многофакторного полинома различных порядков / Математика в высшей школе. Ереван, 2005. -Т. 1, N2.-С.12-17.
18. Баласанян Б. С., Акопян М.Г., Баласанян А.Б. Методика разработки виртуального прибора в среде LabVIEW для моделирования трех факторных экстремальных технологических процессов /Технологии и техника автоматизации 2008 // Сборник трудов международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию

ГИУА в г. Ереване. 13-18.09.2008.– Ереван: типография ГИУА. 2008. с. 185-197. ISBN 966-7909-23-6

19. Баласанян Б.С., Баласанян А.Б., Гулоян К.Х, Хачатрян Н.Г. Некоторые причины медленного внедрения ультразвуковых технологий в различных отраслях промышленности Армении //Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий, Сборник трудов 12-й МНТК “Наука-образованию, производству, экономике”.- Минск, 2014.-Часть 2,-с. 122-125.
20. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. М.: Машиностроение, 1968. 196 с.
21. Барац Я.И. Опыт внедрения отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием. ГОСИНТИ. Обзор по межотраслевой тематике. №1/30 72, М., 1972, 26 с.
22. Башков Г.П. Выглаживание восстановленных деталей / Г. П. Башков. -М.: Машиностроение, 1979. 80 с.
23. Блюменштейн В. Ю. Механика технологического наследования как научная основа проектирования процессов упрочнения деталей машин поверхностным пластическим деформированием : дис. . д-ра техн. наук : 05.02.08. -М., 2002. 595 с.
24. Бобровский Н.М. Повышение долговечности наружных поверхностей валов методом выглаживания широким самоустанавливающимся инструментом:автореферат дис. ... канд. техн. наук:– М., 1999. – 16 с.
25. Боровин Ю.М. Повышение геометрических и физико-механических характеристик поверхностного слоя при финишной ультразвуковой обработке: автореферат дис.. кандидата технических наук: 05.03.01 / Московский Государственный Индустриальный Университет. Москва, 2005. 18с.
26. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В. М. Браславский. М.: Машиностроение, 1975. 160с.
27. Горбенко А.В. Влияние ультразвукового выглаживания на параметры поверхностного слоя // Журнал "Теория процесив та машин". –2008. – №2. 5-7С.
28. Горохов В. А. Чистовая обработка титановых сплавов.–М.: Машиностроение, 1975. – 110 с.

29. Грановский Э.Г. Исследование износостойкости алмазных инструментов для выглаживания / Э. Г. Грановский // Алмазы. 1966. - №1. - С. 100.
30. Григорович В.К. Твёрдость и микротвёрдость металлов. -М.: Наука, 1976. -230 с.
31. Дрозд М.С., Тескер Е.И. О глубине распространения пластической деформации при внедрении сферы в плоскую поверхность стальной плиты с цементованным слоем. В сб.: Металловедение и прочность материалов. Труды 344
32. Зайдес С. А. Охватывающее поверхностное пластическое деформирование / С. А. Зайдес. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного технического университета, 2001. - 309 с.
33. Зайдес С. А. Поверхностное пластическое деформирование / С. А. Зайдес, В. А. Забродин, В. Г. Мураткин. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного технического университета, 2002. - 304 с.
34. Каледин Б.А. Повышение долговечности деталей поверхностным пластическим деформированием / Б. А. Каледин, П. А. Чепе. Минск: Наука и техника, 1974. 232 с.
35. Ким Чанг Сик. Технологические и структурные закономерности ультразвуковой финишной и упрочняющей обработки конструкционных и инструментальных материалов: автореферат дис.. кандидата технических наук: 05.02.01, / Московский Государственный Индустриальный Университет. Сан Мун Университет (Южная Корея). Москва, 2005. 25с.
36. Клубович В.В. Влияние ультразвука на процесс пластической деформации: Автореф. дис. канд. техн. наук. Минск, 1963. 16 с.
37. Клубович В.В., Степаненко А.В. Ультразвуковая обработка материалов. Минск: Наука и техника, 1981. 295 с.
38. Коновалов Е. Г. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей / Е. Г. Коновалов, В. А. Сидоренко. Минск: Высшая школа, 1968. -363 с.
39. Корсаков, В.С. Повышение долговечности машин технологическими методами Текст. / Корсаков В.С., Таурит Г.Э. Киев: Техника, 1986 - 158 с.
40. Кудрявцев И.В. Усталость крупных деталей машин / И. В. Кудрявцев, Н. Е. Наумченко, Н. М. Саввина. М.: Машиностроение, 1981.

41. Кудрявцев И.В., Петушков Г.Е. Влияние кривизны поверхности на глубину пластической деформации при упрочнении поверхностным наклепом. "Вестник машиностроения", 1966, №7, с. 41-43.
42. Лебедев В. А. Технологическое обеспечение качества поверхности деталей при вибрационной ударно-импульсной обработке: диссертация . кандидата технических наук : 05.02.08 / В. А. Лебедев. Ростов-на-Дону, 1984.
43. Марков А.И., Устинов И.Д. "Ультразвуковое алмазное выглаживание деталей и режущего инструмента." М., Машиностроение 1979, 54 с.
44. Марков М.А. Применение ультразвука при алмазном выглаживании деталей / М. А. Марков, М. А. Озерова, И. Д. Устинов // Вестник машиностроения. 1973. - №9. - С. 58-61.
45. Маркус Л. И. Алмазное выглаживание / Л. И. Маркус, В. М. Смелянский // Обзор. НИИНАвтопром. М., 1971. -117 с.
46. Маталин, А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин Текст. / Киев Техника 1971 142с.
47. Мицкевич А.М., Холопов Ю.В. Авторское свидетельство СССР на изобретение "Способ безабразивной полировки поверхности" № 207073 с приоритетом от 12.06.1965 г.
48. Муханов И.И. Импульсная упрочняюще чистовая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом.-М.: Машиностроение, 1978.- 44 с.
49. Муханов И.И., Голубев Ю.М. Упрочнение стальных деталей шариком, вибрирующим с ультразвуковой частотой // Вестник машиностроения. – 1966. – №11. – С. 52 – 53.
50. Налимов В.В. Теория эксперимента. - М.: Наука.-1971, 208с.
51. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов.-М.:Физматгиз,1965, 340 с.
52. Негров Д.А., Еремин Е.Н., Новиков А.А., Шестель Л.А. Ультразвуковые колебательные системы для синтеза и полимеризации композиционных материалов: Монография.– Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – 128 с.
53. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

54. Одинцов Л.Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
55. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
56. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием / Л. Г. Одинцов. М.: Машиностроение, 1987. 327 с.
57. Осипенкова Г.А., Пегашкин В.Ф. Отделочно-упрочняющая обработка с применением ультразвуковых крутильных колебаний / М-во образования и науки РФ: ФГАОУ, Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2013.–116 с.
58. Осипенкова Г.А., Пегашкин В.Ф. Отделочно-упрочняющая обработка с применением ультразвуковых крутильных колебаний / М-во образования и науки РФ: ФГАОУ, Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2015.–178 с.
59. Папшев Д. Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д. Д. Папшев. М.: Машиностроение, 1978.- 152 с.
60. Папшев Д. Д. Упрочнение деталей обкаткой шариком / Д. Д. Папшев. М.: Машиностроение, 1968.- 132 с.
61. Папшев Д.Д., Човнык Л.Н., Маслова Л.Э. Повышение износостойкости режущего инструмента модифицированием поверхностного слоя с упрочнением // Новые методы упрочнения и обработки металлов. Новосибирск: НЭТИ, 1979. – 218 с.
62. Парикян Ф.А., Бабаян А.С. Влияние усилия обкатывания на качественные показатели обкатанной поверхности применением газовых сред:Машиностроение и техносфера XXI века “Сборник трудов XVII МНТК-Донецк: Дон НТУ 2010. Т.1
63. Паспорт “Стенд лабораторный для исследования режимов резания при токарной обработке STD.201-1”
64. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение машиностроительных материалов. М.: Машиностроение, 1994. – 496 с.
65. Пронин А.М. Упругопластический контакт сферы с гладкой поверхностью при наличии упрочнения. В сб.: Прогрессивные технологические, методы повышения надёжности и долговечности деталей машин и инструментов. –Куйбышев: КПТИ, 1980. С. 56-62.

66. Расчёты на прочность в машиностроении. /Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К., Макушин В.М., Малинин Н.Н., Феодосьев В.И. М.: Маш-гиз, т. III, 1959.- 1118 с.
67. Ратнер С.И. Разрушение при повторных нагрузках. М.: Оборонгиз, 1959. -352 с.
68. Резников А. Н. Применение алмазного выглаживания для отделочно-упрочняющей обработки / А. Н. Резников, Я. И. Барац // Вестник машиностроения. 1970. - №1. - С. 15-17.
69. Руководство пользователя “Стенд лабораторный для исследования режимов резания при токарной обработке STD.201-1”
70. Саверин М.М. Контактная прочность материала в условиях одновременного действия нормальной и касательной нагрузок. В сб. ЦНИИТМАШ: Контактная прочность материала, кн.2. М.-Л.: Машгиз, 1946. — 148 с.
71. Северденко В.П., Горев К.В., Коновалов Е.Г. и др. Ультразвуковая обработка металлов. Минск: Наука и техника, 1966. 72 с.
72. Северденко В.П., Клубович В.В. Пластичность и обработка металлов давлением. Минск: Наука и техника, 1964. 50 с.
73. Северденко В.П., Клубович В.В. Применение ультразвука в промышленности. Минск: Наука и техника, 1967. 90 с.
74. Северденко В.П., Клубович В.В., Степаненко А.В. Прокатка и волочение с ультразвуком. Минск: Наука и техника, 1970. 280 с.
75. Северденко В.П., Клубович В.В., Степаненко А.В. Ультразвук и пластичность. Минск: Наука и техника, 1976. 448 с.
76. Селиванов А.С. Повышение эффективности ультразвукового выглаживания на станках с ЧПУ на основе управления дислокационно-энергетическим состоянием поверхностного слоя: диссертация . кандидата технических наук: 05.02.08 / Тольятти, ТГУ. 2011. 19с.
77. Селиванов А.С., Малышев В.И., Петрова А.С. Физические особенности пластической деформации поверхностного слоя при механической обработке в ультразвуковом поле// Тольяттинский государственный университет, Россия, Тольятти, Доклад/Технические науки–Машиноведение и машиностроение,2012 г.,12 с.

78. Семенова Ю.С. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей ультразвуковым пластическим деформированием: диссертация. кандидата технических наук: 05.02.08 / Барнаул, 2012. 18с.
79. Сидякин Ю.И. Повышение эффективности упрочняющей механической обработки валов обкаткой их роликами или шариками. // Вестник машиностроения, 2001, № 2. С. 43-49.
80. Славский Ю.И., Осипенко А.П. Аналитическое решение контактной упругопластической задачи определения динамического коэффициента твёрдости. В сб.: Технология. Оборудование, материалы, процессы. М.; 1989, № 4. С. 83-99.
81. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием.-М.:Машиностроение, 2002.-300С.
82. Смелянский В.М. Геометрические аспекты пластического волнообразования при обработке поверхностным пластическим деформированием. //Известия вузов. Машиностроение, 1983, № 10. С. 125-129.
83. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Л.: Машиностроение. 3-е изд., 1978. -368 с.
84. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие/ Т.Ю. Степанова; Иван.гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2009.- 64с.
85. Степошина С.В. Выбор рациональных условий обкатывания и алмазного выглаживания внутренних цилиндрических поверхностей деталей из конструкционных легированных сталей: диссертация . кандидата технических наук: 05.02.07 / Москва. БГТУ – 2013, 19с.
86. Степчева З.В. Повышение эффективности алмазного выглаживания на основе рационального использования энергии модулированного ультразвукового поля: диссертация кандидата технических наук : 05.02.08 / Ульяновск . УлГТУ – 2007, 19 с.
87. Сулима А. М. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных сплавов / А. М. Сулима, М. И. Евстигнеев. – М.: Машиностроение, 1974. – 256 с.
88. Сулима А.М. и др. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

89. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение контактной жёсткости соединений. М.: Наука, 1977. - 100 с.
90. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей .-М.:Машиностроение, 1987.-208С.
91. Титов А.В., Хохлова Ю.А., Лавриненков А.Д. Некоторые особенности формирования свойств поверхностного слоя при ультразвуковом выглаживании// Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія Машинобудування №56, С. 140-147.
92. Титов В.А., Лавренко И.Г., Лавриненков А.Д., Коваль А.Д. Оценка параметров качества поверхности деталей из титановых сплавов после ультразвукового (уз) выглаживания с применением металлосодержащей смазки// Научный журнал «Известия КГТУ», №34, 2014 г., С. 197-205.
93. Томсен Э., Янг Р., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов, (пер. с англ.). / Под ред. Е.П. Унксова. М.: Машиностроение, 1969.-504 с.
94. Торбило В.М. Алмазное выглаживание, М., "Машиностроение", 1972 102С.
95. Тревис Дж. LabVIEW для всех.-М.:ПриборКомплект, 2005.-539С.
96. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн. /Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. М.: Машиностроение. Кн. 1, 1978. - 400 с. Кн. 2, 1979.-358 с.
97. Фёдоров А.В., Асеев Н.В., Дудкина Н.Г. О составляющих общего упругого сближения при силовом контакте сферических твёрдых тел. //Справочник. Инженерный журнал, 2000, № 12(45). С. 33-36.
98. Фёдоров А.В., Сахно А.М. О влиянии скорости обкатки на глубину пластически деформированного слоя. В сб.: Металловедение и прочность материалов. Труды ВПИ, вып VII. Волгоград, 1975. С. 80-85.
99. Харченко В.В. Повышение качества поверхностного слоя изделий из титанового сплава методом ультразвуковой обработки: диссертация . кандидата технических наук: 05.02.07 / Москва. МГИУ – 2012. 25 с.
- 100.Хачатрян Н.Г., Акопян Г.Г. Методика исследования процесса ультразвукового выглаживания титановых сплавов // Сборник трудов МНТК «Технологии и техника автоматизации–2014», Ереван: 2014., ГИУА (Политехник), Чартарагет, 2014. С. 56-61.

101. Хачатрян Н.Г. Разработка новых конструкций ультразвуковых преобразователей и схем наложения ультразвуковых колебаний на процесс ультразвукового выглаживания поверхностей деталей машин / ԲԱՆԲԵՐ - Մեխանիկա, մեքենագիտություն, մեքենաշինություն. ՀՊ&Հ (Պոլիտեխնիկ). N2, 2015, -Եր: Ճարտարագիտ. էջ. 88-94.
102. Хворостухин Л.А., Шишкин С.В., Ковалев И. П., Ишмакову Р.А. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением.- М.: Машиностроение, 1988. – 144 с.
103. Холопов Ю.В. Безабразивная ультразвуковая финишная обработка металлов // Журнал Петербургский рынок металлов". – СПб., 2005. – №9. 284 с.
104. Холопов Ю.В. Безабразивная ультразвуковая финишная обработка металлов - технология XXI века // Металлообработка. – СПб., 2001. – №4. 56 с.
105. Холопов Ю.В. О безабразивной ультразвуковой финишной обработке металлов-БУФО // журнал ИТО. – М., 2005. – №4. 83С.
106. Холопов Ю.В. Финишные операции на токарных станках с ультразвуковыми приставками // Инструмент. – СПб., 1997. – №2. 112 С.
107. Чекин Г.И. Особенности процесса алмазного выглаживания / Труды Иркутского политехнического института. 1967. - №36. -С. 23-25.
108. Чепа П.А. Технологические основы упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / П. А. Чепа. Минск: Наука и техника, 1981. 128с.
109. Чепа П.А., В.А. Андрияшин. Эксплуатационные свойства упрочненных деталей/Под ред. О.В. Берестнева. Минск, Наука и техника, 1988. - 192 с.
110. Чёрный А.Г. Определение интенсивности пластической деформации и выбор геометрии ролика для упрочнения поверхностным наклёпом стальных валов. Научные труды КПИ, ч. II. Курск, 1971. С. 223-240.
111. Чистосердов П. С. Комбинированные инструменты для обработки ППД : обзор НИИинформ. ТЯЖ. МАШ. / П. С. Чистосердов, Г. С. Жуковец. М., 1976.- 67 с.
112. Чистосердов П.С. Комбинированные инструменты для отделочно-упрочняющей обработки / П. С. Чистосердов. М., 1977. 127 с.

113. Шапарин А. А. Разработка численной модели формирования поверхностного слоя деталей и методики технологического обеспечения механических параметров этого слоя при ППД обкатыванием : дис. . канд. техн. наук : 05.02.08. -М., 1988.-201 с.
114. Шарипов Б.У. Формирование поверхностного слоя при обработке деталей методом поверхностного пластического деформирования //Вестник машиностроения, 2000, № 8. С. 46-48.
115. Школьник Л. М. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием / Л. М. Школьник, Н. Е. Наумченко. М.: Машиностроение, 1964. - 184 е
116. Шнейдер Ю.Г. Технология финишной обработки давлением: справочник. СПб.: Политехника, 1998. – 413 с.
117. Шнейдер Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства / Ю. Г. Шнейдер. JL: Машиностроение, 1972. -240 с.
118. Шнейдер Ю. Г. Чистовая обработка металлов давлением / Ю. Г. Шнейдер. -М. Л.: Машгиз, 1963. - 272 с.
119. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. М.: Гостех-теоретиздат, 1949. - 270 с.
120. Янков Н.И. и др. Упрочнение поверхностного слоя деталей машин до максимальной твёрдости. В кн.: Машиностроение и приборостроение, вып. IX. - Минск, 1977. С. 71-74.
121. Яценко В.К., Зайцев Г.З., Притченко В.Ф., Ищенко Л.И. Повышение несущей способности деталей машин алмазным выглаживанием. Москва Машиностроение 1985г. 232 с.
122. <http://russia.ni.com/>
123. http://www.rospromtorg.ru/catalog/section.php?SECTION_ID=18&ELEMENT_ID=307&ORG=7
124. <http://www.russika.ru/a.php?a=670>