

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Արզումանյան Մարտին Գալերիկի

ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ  
ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՓՈՇԵՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾՔՆԵՐԻ ԽՏԱՑՄԱՆ  
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐՈՒՄ

*Ատենախոսություն*

«Մեքենաների, սարքերի և սարքավորումների դինամիկա,  
ամրություն» (Ա.02.06) մասնագիտությամբ տեխնիկական  
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար

Գիտական ղեկավար՝  
տեխն. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր  
Պետրոսյան Գևորգ Լյուդվիկի

ԵՐԵՎԱՆ 2015

**ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ**

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ.....4

ԳԼՈՒԽ 1. ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՓՈՇԵՆՅՈՒԹԵՐԻ ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ..... 10

1.1. Փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների հետազոտման առանձնահատկությունները ..... 10

1.2. Չեռակալված փոշենյութերի դեֆորմացման բնույթի հետազոտումը..... 15

1.3. Հոծ և եռակալված (ծակոտկեն) նյութերի պլաստիկության պայմանները ..... 17

1.4. Չեռակալված մետաղական փոշենյութերի պլաստիկության պայմանները ..... 24

1.5. Չեռակալված մետաղական փոշենմուշների փորձարկման և հատկությունների որոշման մեթոդները ..... 29

Եզրահանգում և հետազոտման խնդրի դրվածքը..... 40

ԳԼՈՒԽ 2. ՀՈԾ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԵՎ ՓՈՇԵՆՅՈՒԹԵՐԻ ՊԼԱՍՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ..... 42

2.1. Չեռակալված մետաղական փոշենյութերի գլխավոր լարումներով արտահայտված Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի պարզ հիմնավորումը .. 42

2.2. Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների հիման վրա տարբեր պարզ լարվածային վիճակների հաշվարկի օրինակներ ..... 44

2.3. Հոծ նյութերի և փոշենյութերի պլաստիկության ընդհանրացված պայմանների մասին..... 49

Եզրահանգում..... 55

ԳԼՈՒԽ 3. ԵՌԱՌԱՆՅՔ ՀԱՎԱՍԱՐԱԶԱՓ ՄԵՂՄՎԱԾ ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՓՈՇԵՆՅՈՒԹԻՑ ՍՆԱՄԵԶ ԳՆԴԻ ԼԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿԻ ԵՎ ԴՐԱ ՍԱՀՄԱՆԱՅԻՆ ԴԵՊՔԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ..... 57

3.1. Դրուկեր-Պրագերի և Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանների օգտագործմամբ չեռակալված փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի միջօրեական և շառավղային լարումների կապի բանաձևի ստացումը..... 57

3.2. Չեռակալված փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի լարվածային վիճակի հետազոտումը Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների օգտագործմամբ..... 60

3.3. Արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված փոշենյութից սնամեջ գնդի սահմանային վիճակի հետազոտումը.....66

Եզրահանգում.....68

ԳԼՈՒԽ 4. ԿՈՇՏ ԳԼԱՆԱԿԱՆ ՄԱՍԼԱՄԱՅՐՈՒՄ ՉԵՌԱԿԱԼՎԱԾ ՓՈՇԵՆՄՈՒՇԻ ՄԱՍԼՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ ..... 70

4.1. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակի հետազոտումը ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի.....70

4.2. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակի հետազոտումը ըստ Մոր-Կուլնի պլաստիկության պայմանի.....75

4.3. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված մետաղական փոշենմուշի մամլման դեպքում Մոր-Կուլնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների համեմատությունը.....78

4.4. Գլանական մամլամայրում փոշենյութի խտացման գործընթացի հաշվարկման որոշ բնութագրերի մասին.....83

4.5. Չեռակալված մետաղական փոշենմուշների հատկությունները բնորոշող պարամետրերի որոշման փորձարարական մեթոդները.....86

Եզրահանգում.....90

ԳԼՈՒԽ 5. ՉԵՌԱԿԱԼՎԱԾ ՓՈՇԵՆՄՈՒՇԻ ԽՏԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ «ABAQUS» ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ ..... 92

5.1. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի հետազոտումը «ABAQUS» ավտոմատացված ծրագրային միջավայրում.....92

5.2. Խնդրի լուծման թվային տվյալների ստացում և վերլուծում.....93

Եզրահանգում.....97

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ..... 99

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ.....102

## ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Մեքենաշինության ոլորտում մեծ կիրառություն ունեն փոշենյութերից պատրաստված մեքենամասերը, որոնց ստացումն իրականացվում է փոշեմետալուրգիայի մեթոդներով [1-3]: Տեխնոլոգիական գործընթացը հիմնականում կազմված է երկու մասից: Սկզբում տարբեր մամլակադապարներում մետաղափոշիները սառը մամլում են՝ դրանք ենթարկվում են պլաստիկ դեֆորմացիայի, փոխվում է դրանց ծակոտկենությունը կամ խտությունը, նյութը ամրանում է, և ստացվում են տարբեր չափերի և ձևի չեռակալված նախապատրաստվածքներ [4-8]: Այնուհետև դրանք տեղադրելով վառարաններում՝ ենթարկում են եռակալման [9-12]: Հետագայում եռակալված նախապատրաստվածքները ենթարկում են լրացուցիչ ճնշմամբ մշակման [13-28]՝ տալով դրանց վերջնական խտություն և տեսք: Արդյունքում ստացվում է բարձրորակ արտադրանք նյութերի և էներգիայի ավելի քիչ ծախսով:

Այսպիսով, փոշեմետալուրգիայում հիմնական տեխնոլոգիական գործընթացներից մեկը որպես չեռակալված նախապատրաստվածք փոշիների սառը ձևավորումն է:

Փոշենյութերից պատրաստված մեքենամասերը կունենան տարբեր խտություն և ծակոտկենություն, վերջիններս էական ազդեցություն են թողնում նյութերի մեխանիկական հատկությունների վրա, որոնց հետազոտումը փոշեմետալուրգիայի հիմնական գերխնդիրներից է: Եռակալված և չեռակալված փոշենյութերի առաձգական և պլաստիկ դեֆորմացման հատկությունների հետազոտմանը նվիրված են բազմաթիվ աշխատանքներ [29-38 և այլն], սակայն դեռևս կան շատ հարցեր, որոնք պարզաբանման կարիք ունեն:

Հարկ է նշել, որ չնայած եռակալված և չեռակալված նախապատրաստվածքների խտացման գործընթացների որոշակի նմանությանը, դրանց պլաստիկ դեֆորմացման և քայքայման մեխանիզմները իրարից զգալիորեն տարբերվում են: Ընդ որում, այդ հարցերի հետազոտությունները դեռևս շարունակվում են: Դրանք հիմնված են հոծ նյութերի համար ստեղծված ամրության [39-42] և պլաստիկ դեֆորմացման [43-49] դասական տեսությունների վրա:

Նախորդ դարի 70 - ական թվականներից սկսել են մշակվել և աստիճանաբար զարգանալ եռակալված [50-64] և չեռակալված [65-71] փոշենյութերի պլաստիկության տեսությունները: Ընդ որում, եռակալված փոշենյութերի մեխանիկական հատկությունների որոշման [30-34] և դրանցից նախապատրաստվածքների խտացման ու ձևավորման գործընթացները հետազոտված են բավականին մանրամասն: Ինչ վերաբերում է չեռակալված փոշենյութերին, ապա դրանց հետազոտությունները բավականին բարդ են և համեմատաբար ավելի քիչ են ուսումնասիրված [35-38], ինչի պատճառով այդ հետազոտությունները հույժ արդիական են:

Ներկայումս փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների հետազոտությունները մեծ հաջողությամբ իրականացվում են դրանց ավտոմատացված ծրագրային միջավայրում (ԱՕՄ) մոդելավորմամբ [72-85], ինչը հնարավորություն է տալիս կարճ ժամանակում ստանալ բավական մեծ ճշտությամբ արդյունքներ: Ընդ որում, խնդիրների լուծումները կարող են լինել ինչպես առաձգական դեֆորմացիաների (ամրության հաշվարկման), այնպես էլ պլաստիկ դեֆորմացիաների (տեխնոլոգիական գործընթացների հետազոտման) սահմաններում: ԱՕՄ - ի օգտագործման նպատակահարմարություններն ապացուցվել են բազմաթիվ գիտագործնական աշխատանքների արդյունքներով:

**Աշխատանքի նպատակը** չեռակալված մետաղական փոշենախապատրաստվածքների լարվածային վիճակների հետազոտումն է դրանց խտացման գործընթացներում՝ թողարկվող արտադրանքի որակի ու արտադրողականության բարձրացման համար:

Ելնելով աշխատանքի նպատակից՝ առաջադրվել և լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

1. Չեռակալված մետաղական փոշենյութերի Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների օգտագործման առանձնահատկությունների ուսումնասիրում տարբեր լարվածային վիճակների դեպքում (միառանցք սեղմում, մաքուր սահք և մաքուր սահքի ու հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցություն):

2. Չեռակալված մետաղական փոշենյութից սնամեջ գնդի լարվածային վիճակի և դրա սահմանային դեպքի հետազոտում եռառանցք հավասարաչափ սեղմման ժամանակ:
3. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված մետաղական փոշենյութի մամլման գործընթացի վերլուծական մեթոդով ուսումնասիրում՝ հպակային շփման հաշվառմամբ:
4. Գլանական փոշենյութի խտացման գործընթացի հետազոտում ԱՕՄ - ում և արդյունքների համեմատում վերլուծական եղանակով ստացված տվյալների հետ:
5. Չեռակալված մետաղական փոշենյութի մեխանիկական հատկությունները բնութագրող փոշու հատիկների միջև շփման անկյան և դրանց միջև կառչման գործակցի որոշման մեթոդների մշակում:

Ներկայացվող աշխատանքը շարադրված է հինգ գլուխում. ունի եզրակացություն, գրականության ցանկ, հավելված, կազմում է 103 էջ, պարունակում է 36 գծագիր, 14 աղյուսակ, 96 անուն գրականության ցուցակ:

Ատենախոսության **առաջին գլխում** քննարկվել են եռակալված և չեռակալված փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների հետազոտման մեթոդների առանձնահատկությունները: Փոշենյութի խտացումը դիտարկվում է որպես սեղմվող մարմինների դեֆորմացման գործընթաց, որոնց պլաստիկ հատկությունները հիմնականում որոշվում են ծակոտկեն միջավայրի խտության մեծությամբ: Դա հնարավորություն է տալիս օգտագործել հոծ միջավայրի մեթոդները [39-49] չեռակալված փոշենյութերի դեֆորմացման գործընթացների ուսումնասիրման համար:

Վերլուծվել են հոծ և ծակոտկեն եռակալված ու չեռակալված նյութերի պլաստիկության պայմանները [50-64]: Բերվել են չեռակալված մետաղական փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման փորձարարական մեթոդների օրինակներ [4,5,36,67 և այլն]:

**Երկրորդ գլխում**, հիմք ընդունելով թեք հարթակների շոշափող և նորմալ լարումների բաղադրիչներով կազմված առանցքների համակարգում Մորի շրջանագիծը և դրան շոշափող Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի ուղիղ գիծը

պատկերող գրաֆիկը, պարզ տեսական ձևափոխություններով հիմնավորվել է գլխավոր լարումներով արտահայտված Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը [87]:

Տարբեր լարվածային վիճակների ուսումնասիրությամբ ապացուցվել է չեռակալված փոշենյութերի Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների ընդհանրությունը, որոնցից մասնավոր դեպքում ստացվում են հոծ նյութերի Տրեսկ-Սեն-Վենանի և Հուբեր-Միգեսի պլաստիկության պայմանները [89]:

**Երրորդ գլխում** վերլուծական եղանակով հետազոտվել են արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված մետաղական փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի լարվածային վիճակը և դրա սահմանային դեպքը [86,88]:

Ստացված շառավղային ու միջօրեական լարումների, ինչպես նաև սահմանային դեպքին համապատասխան ճնշման համար թվային հաշվարկները կատարվել են «Mathcad» ծրագրային միջավայրում փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյան տարբեր արժեքների համար և ցույց է տրվել - ի առանձնահատուկ դերը չեռակալված մետաղական փոշենյութի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացում:

**Չորրորդ գլխում** հետազոտվել է կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակը Դրուկեր-Պրագերի և Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանների հիման վրա [90,91]: Խնդիրը լուծվել է փոշենմուշի և մամլամայրի միջև հպակային շփման առկայության դեպքում՝ օգտագործելով բարակ հատույթների մեթոդը: Ստացվել են առանցքային և կողմնային ճնշումների որոշման՝ չափում չունեցող տեսական բանաձևեր: Դրանց «Mathcad» ծրագրային միջավայրում ստացված թվային տվյալները հնարավորություն են տվել գնահատել մամլամայրի բարձրությամբ նախապատրաստվածքի անհամասեռ դեֆորմացման, տարբեր պլաստիկության պայմաններով հաշվարկված տվյալների համընկնելիության աստիճանները, ինչպես նաև կողմնային ճնշման գործակցի արժեքները համեմատել հայտնի փորձարարական տվյալների հետ [92]:

Փոշենյուրի խտացման գործընթացի բնութագրերի օգտագործմամբ որոշվել են մետաղական փոշու խտացման տեխնոլոգիական պարամետրերը: Ջանգվածի պահպանման օրենքի հիման վրա ստացվել է փոշենյուրի ընթացիկ ծակոտկենության որոշման բանաձևը [92]:

Փոշենյուրերի մեխանիկական հատկությունները բնութագրող՝ փոշու հատիկների միջև շփման անկյան և դրանց միջև կառչման գործակցի որոշման համար մշակվել են չեռակալված փոշենյուրերի դեֆորմացիոն իրական բնութագրերի որոշման եղանակներ [91]:

**Հինգերորդ գլխում** կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված մետաղական փոշենմուշի մամլման գործընթացը մոդելավորվել է «ABAQUS» ԱՕՄ - ում, անալիտիկ եղանակով ստացված չափում չունեցող բանաձևերով կատարվել է չափվող մեծությունների թվային հաշվարկ և ստացված արդյունքները համեմատվել են [93]:

**Պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները.**

1. Պարզ տեսական ձևափոխություններով գործնական կիրառության համար ավելի հարմար՝ գլխավոր լարումներով արտահայտված Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի հիմնավորումը:
2. Հոծ և չեռակալված մետաղական փոշենյուրերի պլաստիկության պայմաններով տարբեր լարվածային վիճակների հետազոտմամբ ընդհանրացված պլաստիկության պայմանների բացահայտումը:
3. Վերլուծական եղանակով արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված մետաղական փոշենյուրից հաստապատ սնամեջ գնդի պլաստիկ վիճակի և դրա սահմանային դեպքի հետազոտման արդյունքները:
4. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված մետաղական փոշենմուշի մամլման գործընթացի՝ վերլուծական մեթոդով ուսումնասիրումը՝ հպակային ճնշման հաշվառմամբ և փոշենյուրի խտացման գործընթացի բնութագրերի օգտագործմամբ մետաղական փոշու խտացման տեխնոլոգիական պարամետրերի որոշման արդյունքները:
5. Փոշենյուրերի մեխանիկական հատկությունները բնութագրող՝ փոշու հատիկների միջև շփման անկյան և դրանց միջև կառչման գործակցի



որոշման համար քառակուսի և կլոր լայնական հատույթներով չեռակալված փոշենախապատրաստվածքների փորձարկման մեթոդները:

6. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված մետաղական փոշենուշի լարվածային վիճակի մոդելավորումը ԱԾՄ – ում և արդյունքների համեմատումը վերլուծական եղանակով ստացված տվյալների հետ:

**ԳԼՈՒԽ 1. ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՓՈՇԵՆՅՈՒԹԵՐԻ ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑՄԱՆ  
ԳՈՐԾՐՆԹԱՑՆԵՐԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ  
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

**1.1. Փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների հետազոտման  
առանձնահատկությունները**

Քննարկվել են ինչպես եռակալված, այնպես էլ չեռակալված փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների տեսական հետազոտությունների ինչպես ընդհանուր, այնպես էլ իրարից տարբերվող առանձնահատկությունները:

Ենթադրվում է, որ փոշենյութի հիմնանյութը իզոտրոպ է և համասեռ: Նյութի ծակոտկենությունը նշանակենք -  $n$ : Այն որոշվում է ծակոտիների ծավալի ծակոտկեն մարմնի ծավալին հարաբերությամբ [13].

$$: (1.1)$$

Հաշվի առնելով, որ հիմնանյութի ծավալը՝

$$, (1.2)$$

ինչպես նաև

$$և , (1.3)$$

ապա

$$, (1.4)$$

կամ

$$, (1.5)$$

որտեղ ծակոտկեն մարմնի հարաբերական խտությունն է, - ն ծակոտկեն մարմնի խտությունն է, - ն՝ հիմնանյութի խտությունը, իսկ - ն՝ նմուշի կշիռը:

Եռակալված նյութերում ծակոտկենության մեծությունները կարող են լինել տարբեր, և վերին սահմանն ընդունվում է 0,5:

Ելնելով ծակոտկենության մեծությունից՝ նյութերը կարող են լինել երեք տեսակի [13].

1) Նյութերը, որոնց ծակոտկենությունը մեծ են 0,5 – ից, պայմանականորեն կոչվում են առավել ծակոտկեն,

2) Քիչ ծակոտկեն կոչվում են այն նյութերը, որոնց համար :

3) Քանի որ եռակալված և հոծ (անծակոտի) նյութերում գոյություն ունեն միկրոծակոտիներ և ոչ մետաղական տարբեր բնույթի միացություններ, որոնք նոր ծակոտիների առաջացման աղբյուրներ են և մետաղում ստեղծում են սկզբնական միկրոծակոտկենություն, ուստի դրանք կոչվում են միկրոծակոտկեն նյութեր ( )

[13]:

Այսպիսով, եռակալված նյութերը այս կամ այն չափով ծակոտկեն նյութեր են: Այդ նյութերի դեֆորմացման մեխանիզմը համանման կլինի հոծին, եթե եռակալված նյութերում ծակոտիները, մարմնի չափերի համեմատ, լինեն բավականին փոքր: Դա հնարավորություն կտա սովորական նյութերի համար օգագործվող հայտնի հետազոտման մեթոդները կիրառել նշված ծակոտկեն նյութերի պլաստիկ դեֆորմացիայի ուսումնասիրման ժամանակ:

[14] - ում բացահայտվում են անընդհատության հասկացությունների առանձնահատկությունները փոշե և ծակոտկեն նյութերի մեխանիկայում: Ուժային և կլինեմատիկ պարամետրերի որոշումը, որոնք բնութագրում են հոծ միջավայրի վիճակը, հիմնվում է այն գիտավարկածի վրա, որ այդ միջավայրն անընդհատ է: Դրա օգտագործումը թույլ է տվել սահմանել այնպիսի հասկացություններ, ինչպիսիք են՝ լարումները, դեֆորմացիաները, դեֆորմացիայի արագությունները և այլն:

Այդ հասկացությունների օգտագործումը փոշիների և ծակոտկեն նյութերի նկարագրման դեպքում դժվարանում է այն առումով, որ բացակայում է մեկ ընդհանուր հասկացությունը այն մասին, թե ինչ պետք է հասկանալ փոշենյութի մասնիկ ասելով: Փոշու մասնիկը համարվում է կարծր (պինդ) մարմին, որն ունի որոշակի հատկություններ: Այդ մասնիկների մեծ քանակությունը կոչվում է փոշի:

Հոծ միջավայրի մեխանիկայի (ՀՄՄ) տեսակետից փոշու և փոշենյութի միջավայրի մասնիկները չի կարելի նույնացնել: Իրոք, փոշու յուրաքանչյուր մասնիկ հոծ միջավայրի որոշակի տիրույթ է, որի համար որպես բնութագիր կարող է օգտագործվել, օրինակ, լարման հասկացությունը: Քանի որ փոշու մեջ այդ մասնիկը

բավականին բարդ փոխազդեցության մեջ է հարևան մասնիկների հետ, լարման բաշխումը այդ տիրույթում կլինի անհամասեռ:

Հայտնի է, որ փոշենյութից մարմնի պահվածքի շատ կինեմատիկ ասպեկտներ չեն տարբերվում սովորական հոծ մարմիններից: Այդ են վկայում լավ ծանոթ փորձերը ներկված փոշիների օգտագործմամբ [14], որոնք ցույց են տալիս, որ փակ մամլակադապարներում մամլման դեպքում տեղի է ունենում լայնական հատույթի հարթ լինելու վարկածի խախտում, որի ժամանակ պահպանվում է փոշու շերտերի ամբողջությունը: Անընդհատության մոտեցման օգտագործման նպատակահարմարությունը հաստատվում է նաև խտության բաշխման տվյալներով՝ որպես սահուն ֆունկցիա, այդ նույն փոշու զբաղեցրած տիրույթում: Այդ դեպքում պետք է նկատել, որ խտության բաշխման որոշումը սովորաբար կապված է բրիկետի որոշակի տիրույթների նախնական բաժանման հետ, որոնց ծավալները ամբողջ մարմնի ծավալի համեմատ փոքր են և այդ նույն ժամանակ բավականին գերազանցում են փոշու կամ ծակոտու առանձին մասնիկների չափերը: Այդ տիրույթի և նմուշի հատկությունների բնութագրերը ամբողջությամբ նույնն են, որի պատճառով տրված տիրույթը համարվում է «ներկայացուցչական»:

Նմուշի բաժանումը այդպիսի տիրույթների ցույց է տալիս անընդհատության հասկացության ներմուծման ուղին: [14] - ում ընդունվում է գիտավարկած, որ ցանկացած փոշու լցվածքի և ցանկացած ծակոտկեն մարմնի համար գոյություն ունի տիրույթ, որն իր հատկություններով նման է նկարագրված մարմիններին, այդ տիրույթի չափը զգալի փոքր է լցվածքի կամ ծակոտկեն նմուշի չափերից և զգալի մեծ է ծակոտու կամ փոշու առանձնացված մասերից, լցվածքը կամ նմուշը կարող են պատկերված լինել այդպիսի տիրույթների միավորման տեսքով: Դրանցից ամենափոքրը կոչվում է ներկայացուցչական տարր [14]:

Սահմանային անցումների և դիֆերենցիալ գործողությունների օգտագործումը հիմնվում է այն ենթադրության վրա, որ տարածության համապատասխան տարրերը մոտենում են ներկայացուցչական տարրերին [14]:

Կարևոր է նշել, որ փոշե և ծակոտկեն միջավայրի բոլոր բնութագրերի որոշումը ինչ-որ անընդհատության մոդելի կիրառման հետևանքով իմաստ ունի այն

ծավալներում, որոնք փոքր չեն ներկայացուցչական տարրի ծավալից: Դրանց դիտարկումը բերված տարրի ներսում իմաստ չունի:

Մետաղական փոշիները, ծակոտկեն մարմինները և այն նյութերը, որոնք ունեն նման կառուցվածք, դասվում են միկրոանհամասեռ մարմինների խմբին [14]: Այդ նույն խմբին կարելի է դասել նաև հայտնի կոմպոզիցոն նյութերի մեծ մասը: Միկրոանհամասեռ նյութերի առանձնահատկությունը պայմանավորված է դրանց ցանկացած փոքր ծավալում տարբեր հատկություններ ունեցող մասնիկների առկայությամբ: Այդ դեպքում նյութի վարքը կորոշվի ոչ միայն մասնիկների հատկությունների ամբողջությամբ, դրա բաղադրիչներով, այլ նաև դրանց փոխազդեցությամբ և փոխադարձ դասավորությամբ:

Այդպիսի նյութերի հատկությունների արդյունավետության որոշումը միկրոանհամասեռ նյութերի մեխանիկայի գլխավոր առաջադրանքներից մեկն է: Նշենք, որ այդ նյութերի մակրոբնութագրերը համարվում են իրական բնութագրերի միջինացում՝ ըստ ներկայացուցչական ծավալի: Նույն կերպ սահմանվում է միկրո և մակրո բնութագրերի միջև կապը:

[61] - ում կատարվում է կառուցվածքի թերություններ պարունակող մարմինների տեսակների (ծակոտկեն մարմիններ, փոշեմարմիններ և փոշիներ) վերլուծություն: Ծակոտկեն մարմինները պարունակում են միայն եռաչափ կարգի թերություններ՝ ծակոտիներ: Ի տարբերություն դրանց, փոշեմարմինները պարունակում են ոչ միայն ծակոտիներ, այլ նաև՝ ճաքեր: Փոշիները չկապված մարմիններ են և կարող են ընդունել այն անոթի ձևը, որի մեջ դրանք տեղավորված են: Փոշեմարմինները կարող են ստացվել փոշիներից, օրինակ՝ սառը մամլման միջոցով: Ծակոտկեն մարմինները կարող են ստացվել փոշիներց մասնակի եռակալման միջոցով:

Կառուցվածքային անհամասեռություն ունեցող նյութերի մեխանիկական համարվում է ՀՄՄ - ի բաժիններից մեկը: Այդպիսի նյութերի համար ՀՄՄ - ն կարող է կիրառվել որպես միկրոմակարդակի օբյեկտ, այսինքն այն գործընթացների ուսումնասիրման համար, որոնք տեղի են ունենում միկրոծավալում, հետևաբար ճնշումով մշակման տեխնոլոգիական գործընթացների հաշվարկի հուսալի տեսական հիմքը համարվում է ՀՄՄ - ն և քանի որ այն հիմնված է այն ենթադրության վրա, որ

ուսումնասիրվող նյութական օբյեկտները անընդհատորեն են բաշխված դրանց զբաղեցրած ծավալում, ապա դրա կիրառումը միկրոմակարդակում հնարավոր է այն պայմանով, եթե միկրոծավալի չափերը շատ անգամ մեծ են մոլեկուլյար-կինետիկ չափերից [61]:

Նույն կերպ ՀՄՄ - ի կիրառումը մակրոծավալում հիմնված է այն ենթադրության վրա, որ դիտարկվող մարմինը կարող է տրոհվել տարրական մակրոծավալների, որոնց բնութագրական չափերը մի կողմից՝ շատ անգամ փոքր են մարմնի բնութագրական չափերից, իսկ մյուս կողմից՝ շատ անգամ մեծ են կառուցվածքային տարրի բնութագրական չափերից: Ենթադրվում է, որ մակրոպարամետրերի փոփոխությունը մակրոտարրում չնչին է: Այդ ենթադրությունների դեպքում մակրոբնութագրերը (խտություն, լարում և այլն), որոնք ստացվել են ՀՄՄ - ի մեթոդների օգնությամբ, ճշտությամբ կհամընկնեն մակրոծավալով միջինացված միկրոբնութագրերի հետ:

Այն արդյունքները, որոնք ստացվել են միկրոծավալում, կարող են օգտագործվել մակրոգործընթացների կոնսիսիդումային մոդելների կառուցման համար: Բացի այդ, այն մակրոբնութագրերը, որոնք ստացվել են հոծ միջավայրի հետազոտության մեթոդների օգտագործման հիման վրա, հնարավորություն են տալիս դատել միկրոգործընթացի բնույթի մասին և համարվում են ելակետային՝ դրանց հետազոտման համար:

[13] - ում եռակալված փոշենյութերի համար նշվում է. քանի որ ինչպես ձուլված, այնպես էլ եռակալված նյութերը այս կամ այն չափով ծակոտկեն են, ուստի դրանց դեֆորմացման մեխանիզմներն իրար նման կլինեն այն դեպքում, երբ եռակալված նյութում ծակոտիները մարմնի չափերի նկատմամբ կլինեն բավականին փոքր: Դա հնարավորություն կտա օգտագործել հոծ նյութերի հետազոտման հայտնի մեթոդները՝ նշված նյութերի պլաստիկ դեֆորմացման հարցերը ուսումնասիրելու համար:

Այսպիսով, [13,14,61] – ում բերված փաստերի հանրագումարի հիման վրա ապացուցվում է, որ փոշենյութերի խտացումը պետք է դիտարկել որպես այնպիսի սեղմվող մարմինների դեֆորմացման գործընթացներ, որոնց պլաստիկ հատկությունները հիմնականում որոշվում են ծակոտկեն միջավայրի խտությամբ,

ինչը հնարավորություն է տալիս փոշենյութերի դեֆորմացման գործընթացների հետազոտման համար օգտագործել ՀՄՄ - ի մեթոդները:

Պետք է նշել, որ մետաղական ծակոտկեն և փոշենյութերի ճնշմամբ մշակման գործընթացների մոդելավորումը ծակոտկեն մարմինների պլաստիկության տեսության խնդիրներից մեկն է:

## 1.2. Չեռակալված փոշենյութերի դեֆորմացման բնույթի հետազոտումը

Առաձգականության սահմաններից դուրս մարմինների դեֆորմացումը հանգեցնում է դրանց կամ փխրուն քայքայման, կամ դրանցում պլաստիկ հոսունության երևույթի առաջացման: Երկու դեպքում էլ դեֆորմացիան կապակցված մարմիններում զարգանում է որոշակի սահքի հարթություններով նյութի ծավալի սահքի հետևանքով, որտեղ ըստ [67] - ի, տեղի է ունենում հետևյալ պայմանը.

$$\sigma \geq \sigma_{\text{lim}}, \quad (1.6)$$

որտեղ  $\sigma$  - ը շոշափող լարման, իսկ  $\sigma_{\text{lim}}$  - ը նորմալ լարման բաղադրիչներն են:

Հոծ ոչ սեղմելի մարմինների համար, որոնց թվին կարելի է դասել ձուլածո մարմինները և դրանց համաձուլվածքները, հարաբերական ցածր ճնշման միջավայրում (1.6) արտահայտությունն ընդունում է հետևյալ տեսքը՝  $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_{\text{lim}}(\epsilon)$ , և սահքի մակերևույթները կազմում են երկու փոխուղղահայաց ընտանիք: Սահքի այդ մակերևույթների ուղղությունները համընկնում են գլխավոր (առավելագույն) շոշափող լարումների ուղղության հետ, և դրանց ի հայտ գալն ուղեկցվում է մարմնի մակերևույթում հոսունության գծերի առաջացմամբ: Եթե մարմինն ունի այնպիսի հատկություն, որ դիմադրում է տեղաշարժի դեֆորմացիային և կախված է սահքի մակերևույթներում նորմալ լարման մեծությունից ըստ (1.6) - ի, ապա վերջիններիս ուղղությունը չի համընկնում գլխավոր շոշափող լարումների ուղղության հետ, ինչպես նաև դրանց առաջացրած սահքի գծերը փոխուղղահայաց չեն: Այդ փաստի բացատրությունը կարելի է տալ նորմալ և շոշափող լարումների վեկտորի բնութագրի փոփոխությամբ այն հարթակում, որը կամայականորեն կողմնորոշված է  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  և  $\sigma_3$  ուղղություններով:

զլխավոր լարումների ուղղությամբ: Այն սեղմելի մարմիններում, որոնց ծավալը փոփոխվում է պլաստիկ դեֆորմացման հետևանքով, լարումների թենզորի բաղադրիչների մեծությունը սահքի մակերևույթում նկարագրվում է (1.6) բանաձևով:

[67] - ում նշվում է. եթե չեռակալված փոշենյութից պատրաստված տարբեր խտության մամլվածքները բեռի տակ քայքայվում են տեղաշարժի դեֆորմացիայի հետևանքով՝ սահքի մակերևույթներով, և եթե այդ մակերևույթների միջև կազմած անկյունը - ից փոքր է, ապա կարելի է ընդունել, որ խտացող փոշենյութը դեֆորմացվում է որպես մեկ ընդհանուր սեղմվող նյութ, որի պլաստիկ դեֆորմացման պայմաններն ամբողջապես բնորոշում են դիտարկվող ծակոտկեն միջավայրի ձևավորման և խտացման գործընթացները:

Փոշենյութի դեֆորմացիայի և քայքայման մասին համոզիչ տեղեկություն կարելի է ստանալ՝ իրականացնելով տարբեր սկզբնական խտություն ունեցող մամլվածքների դեֆորմացման հետազոտություններ: Այդ տեսակետից կարելի է նշել Վ.Ե. Պերելմանի [67] փորձերի հույժ կարևորությունը: Դրա համար այստեղ բերենք այդ փորձերի որոշ արդյունքների նկարագիրը:

Ըստ նրա, քանի որ փոշենյութերը պատկանում են փխրուն նյութերի դասին, ուստի փոփոխելով հպման հարթակներում ծակոտկեն միջավայրի մասնիկների միջև սեղմող լարումների մեծությունները, կարելի է ստանալ պլաստիկ քայքայման բոլոր տեսակները, սկսած փխրուն քայքայումից՝ մինչև զարգացող պլաստիկ հոսունության վիճակ առանց նյութի քայքայման, այսինքն՝ փոշենյութի հատկանշական մամլման պայմանների առաջացումը:

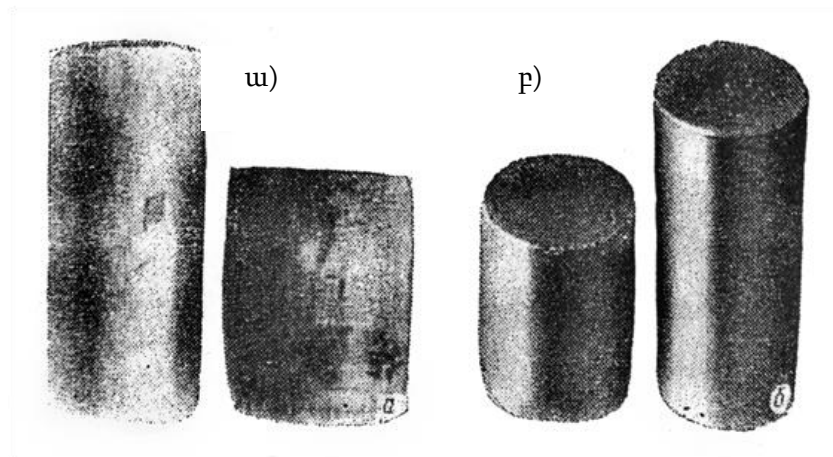
Ծակոտկեն նմուշների փորձարկումը միառանցք սեղմման դեպքում՝ կողմնային լրացուցիչ ճնշման կիրառման պայմաններում ավելի լիարժեք պատկերացում է տալիս փոշենյութում սահքի մակերևույթների ձևավորման մասին [67]: Բրիկետների կողմնային ճնշումը իրականացվում է ռետինե թաղանթների օգնությամբ. դրանք տեղադրվում են բրիկետների կողմնային մակերևույթին՝ ապահովելով ճնշման հավասարաչափ բաշխումը:

25-30 ՄՊա կողմնային ճնշումների կիրառմամբ հետազոտվող բրիկետների նույնիսկ 30...40% նստեցման դեպքում (նկ. 1.1), որոնք մամլվել են 50...70% խտության



ՈՋ2Մ2 [67] վերականգնված պողպատյա փոշենյութից, չի նկատվում փոշենմուշների քայքայում: Այս դեպքում փոշենյութի զարգացրած պլաստիկ հոսունության գործընթացը անընդհատ զուգակցվում է դրա ինտենսիվ խտացման գործընթացով, այսինքն՝ տեղի է ունենում փոշենյութի սովորական մամլման գործընթաց: Նմուշի սկզբնական խտությունը մինչև փորձարկումը եղել է 65%, իսկ դեֆորմացիայից հետո՝ 76% [67]: Ճնշման առավելագույն մեծությունները, որոնք կիրառվել են բրիկետների վրա, կազմել են՝

և :



Նկ. 1.1. Նմուշների տեսքերը կողմնային ճնշումով նստեցումից առաջ և հետո.

ա) ՈՋ2Մ2, բ) կայծքարի կարբիդ [67]

Այսպիսով, վերը բերված փաստերի հանրագումարը, որը ներկայացնում է պարզ և հանրահայտ դրույթներ, ապացուցում է այն, որ փոշենյութերի խտացումը պետք է դիտարկել որպես սեղմվող մարմինների դեֆորմացիաների գործընթացներ, որոնց պլաստիկ հատկությունները որոշվում են ծակոտկեն միջավայրի խտությամբ և դրանց կառուցվածքի մեջ մտնող տարրի քիմիական բաղադրությամբ:

### 1.3. Հոծ և եռակալված (ծակոտկեն) նյութերի պլաստիկության պայմանները

Փոշենյութերի ճնշմամբ և կտրմամբ մշակման գործընթացների հաշվարկները, որոնք անհրաժեշտ են դեֆորմացման օպտիմալ պարամետրերի որոշման համար, հիմնված են պլաստիկության տեսության վրա: Փոշենյութերը սովորական նյութերից տարբերվում են ծակոտիների առկայությամբ, այդ պատճառով, ելնելով սովորական

նյութերի պլաստիկության տեսությունից, չի կարելի ուսումնասիրել փոշենյութերի վարքը դրանց պատրաստման դեպքում, հետևաբար այդ խնդիրների լուծման համար օգտագործվում է ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսությունը:

Պլաստիկության տեսության բանաձևերի ստացման համար սկզբում ընտրում են պլաստիկության պայմանը, ինչը կախված նյութի տեսակից՝ ունենում է տարբեր տեսքեր և հաշվի է առնում նյութի տարբեր իրական հատկությունները [43]:

**Հոծ նյութերի** համար պլաստիկ դեֆորմացման առաջացման պայմանը ներկայացվում է լարումների թենզորի բաղադրիչների ֆունկցիայի տեսքով.

:

(1.7)

Ընդ որում, (1.7) պայմանի կատարման դեպքում նյութը առաձգական վիճակից անցնում է պլաստիկ վիճակի:

Կախված (1.7) ֆունկցիայի տեսքից՝ հոծ պլաստիկ նյութերի համար, որոնք ունեն ձգման և սեղմման միևնույն դիմադրությունը, տարբերում են պլաստիկության տարբեր պայմաններ:

**1. Առավելագույն շոշափող լարման Տրեսկա–Սեն–Վենանի պլաստիկության պայմանը:** Համաձայն դրա հոսունության վիճակում գտնվող հոծ նյութում առավելագույն շոշափող լարումը մարմնի բոլոր կետերում ընդունվում է հաստատուն և հավասարեցվում է նյութի հոսունության սահմանին մաքուր սահքի դեպքում [43].

,

(1.8)

որտեղ և - ը համապատասխանաբար ամենամեծ և ամենափոքր գլխավոր լարումներն են, իսկ - ը նյութի հոսունության սահմանի լարումն է:

**2. Առավելագույն շոշափող լարման ընդհանրացված չափանիշում (Մորի չափանիշը)** ընդունվում է, որ նյութի պլաստիկ վիճակի դեպքում գոյություն ունի ֆունկցիոնալ կախվածություն առավելագույն շոշափող լարման և համապատասխան նորմալ լարման միջև [43].

:

(1.9)

**3. Ձևափոխման տեսակարար պոտենցիալ էներգիայի Հուբեր-Միգեսի պլաստիկության պայմանում** ընդունվում է, որ նյութի հոսունության վիճակը կապված է ձևի փոփոխման դեֆորմացիայի պոտենցիալ էներգիայի հետ և ունի հետևյալ տեսքը [43].

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\tau^2 \quad (1.10)$$

Այս բանաձևում  $\tau$  - ը գլխավոր միջին լարումն է: Այսինքն՝

Նշենք, որ (1.10) պլաստիկության պայմանը կարելի է գրել նաև հետևյալ տեսքով՝

$$\sigma_i - \sigma_j = \tau \quad (1.11)$$

որտեղ  $\tau$  - ն հետևյալ բանաձևով որոշվող լարումների ինտենսիվությունն է.

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \tau^2} \quad (1.12)$$

**4. էներգիայի ձևափոխման ընդհանրացված չափանիշում** ենթադրվում է, որ նյութի պլաստիկ վիճակի դեպքում գոյություն ունի ֆունկցիոնալ կախվածություն լարման ինտենսիվության և հետևյալ բանաձևով որոշվող միջին նորմալ լարման միջև.

$$\sigma = \tau \quad (1.13)$$

Այդ դեպքում պլաստիկության չափանիշը ներկայացվում է հետևյալ տեսքով՝

$$\sigma = \tau \quad (1.14)$$

**5. Շլեյխեր-Նադայի չափանիշում** հաշվի է առնվում նյութի պլաստիկ փխրունացումը՝

$$\sigma = \tau \quad (1.15)$$

որտեղ  $\sigma$  և  $\tau$  - ն մաքուր սահքի դեպքում ժամանակավոր դիմադրությունն է:

6. [40] - ում առաջարկել են նյութերի սահմանային վիճակը նկարագրել լարումների թենզորի բաղադրիչների և նյութում առավել վտանգավոր թերությունների պարամետրերի ֆունկցիայի տեսքով.

:

(1.16)

7. Ծակոտկեն եռակալված նյութերի պլաստիկության պայմաններ: Հոծ նյութերի վտանգավոր վիճակի չափանիշների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ծակոտկեն նյութերի համար սահմանային մակերևույթը կարելի է ներկայացնել (1.16) տեսքով, եթե լարումների թենզորի բաղադրիչներում օգտագործենք լարումների ինտենսիվությունը և հիդրոստատիկ ճնշումը, իսկ նյութի առավել վտանգավոր թերության պարամետր՝ նրա ծակոտկենությունը: Այդ դեպքում հաստատուն գործակիցների փոխարեն պլաստիկության պայմանում ներառում են նյութի ծակոտկենության և ֆունկցիաները: Ծակոտկեն եռակալված նյութերի համար առավել տարածված է պլաստիկության հետևյալ պայմանը [13].

:

(1.17)

Հայտնի է, որ տարբեր հեղինակների կողմից ստացված եռակալված ծակոտկեն նյութի պլաստիկության տեսությունների հիմնական տարբերությունը պլաստիկության պայմաններում ծակոտկենության տարբեր և ֆունկցիաների օգտագործումն է: Իրական ծակոտկեն նյութերի համար ծակոտկենության և ֆունկցիաների ճիշտ ընտրության նպատակով [13] - ում կատարվել է ավելի բնութագրական ֆունկցիաների հետազոտում:

[29] - ի կողմից ներկայացված առնչությունները ծակոտկեն մարմնի և նրա հիմնանյութի սահքի մածուցիկության գործակիցների միջև, ինչպես նաև ծավալային և ծակոտկեն մարմնի սահքի մածուցիկության միջև [29] թույլ են տալիս կազմել պլաստիկության պայման, որը հնարավորություն է տալիս ծակոտկենության և ֆունկցիաները ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

, : (1.18)

Աշխատանք [50] - ում գնդաձև անցքի շուրջը լարվածային վիճակի հետազոտման ճանապարհով, եռառանցք սեղմման և մաքուր սահքի դեպքում ստացվել են ծակոտկենության և ֆունկցիաները: Այդ նպատակով դուրս է բերվել ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության պայմանը, և ծակոտկենության ֆունկցիաները ներկայացվել են հետևյալ տեսքով.

, , (1.19)

որոնք բավականին բարդ են և գործնականում դժվար կիրառելի:

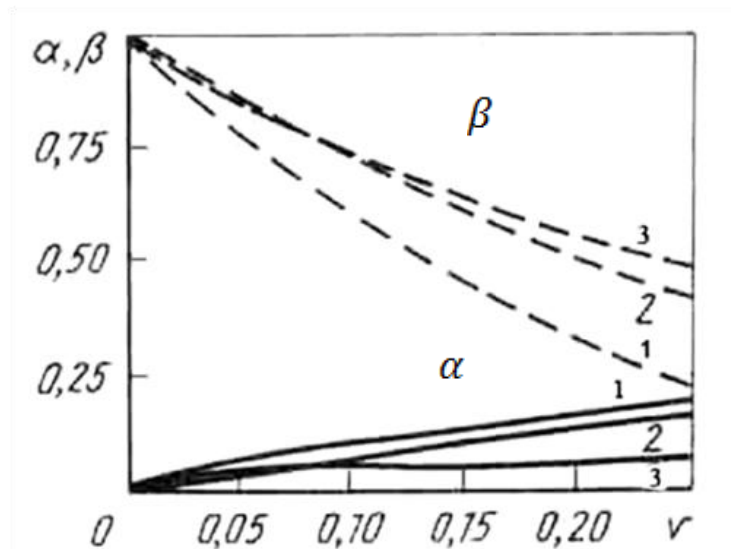
[51] - ի կողմից հետազոտված եռակալված պղնձից պատրաստված գլանաձև նմուշների միառանցք սեղմման փորձարկումների օգնությամբ և ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսության առնչությունների հիման վրա նույնպես ստացվել են ծակոտկենության ֆունկցիաներ, որոնք ներկայացված են անբացահայտ տեսքով: Այդ աշխատանքի հեղինակները նշում են, որ ստացված ֆունկցիաները կարող են օգտագործվել այլ նյութերի՝ եռակալված երկաթի և ալյումինի համար: Այդ պնդումը հիմնավորված չէ, քանի որ հաշվի չեն առնվում նյութերի ստացման պայմանները և փոշիների բնութագրերը: Այդ աշխատանքի թերություններից է նաև բազմաթիվ չափումների, լրացուցիչ հաշվարկների և միջանկյալ վեց գրաֆիկի կառուցման անհրաժեշտությունը:

Հարկ է նշել նաև, որ որպես , ծակոտկենության ֆունկցիաներ կարելի է օգտագործել դրանց այլ մոտարկումները: Մասնավորապես (1.19) ֆունկցիաները կարելի է մոտարկել հետևյալ ավելի պարզ առնչություններով [13]՝

, , (1.20)

, : (1.21)

Ծակոտկենության և ֆունկցիաների ընտրության համար կառուցվում են դրանց փոփոխման գրաֆիկները՝ կախված նյութի ծակոտկենությունից (նկ. 1.2):



Նկ. 1.2.  $\alpha$  և  $\beta$  ծակոտկենության ֆունկցիաների փոփոխման գրաֆիկները [13]

Նկ. 1.2 - ում [13] կորերը ցույց են տրված անընդհատ գծերով, իսկ - ներքև՝ ընդհատված գծերով, գործնականում հաճախ հաղիպող ծակոտկենության հետևյալ արժեքների համար , առաջին կորերը համապատասխանում են (1.19) [13] բանաձևերին, երկրորդ կորերը՝ (1.18) - ին [13], իսկ երրորդները [13] - ի սվյալներին:

Ինչպես երևում է գրաֆիկներից (նկ. 1.2), ծակոտկենության  $\alpha$  և  $\beta$  ֆունկցիաները նյութի դեֆորմացման դեպքում իրենց տարբեր ձևերով են դրսևորում: Ծակոտկենության մեծացմանը զուգընթաց  $\alpha$  ֆունկցիաները մեծանում են, իսկ  $\beta$  ֆունկցիաները՝ փոքրանում:

Բոլոր բերված  $\alpha$  ֆունկցիաները քանակապես լավ են բնութագրում ծակոտկեն նյութերի դեֆորմացման մեխանիզմը:

Համաձայն [50] - ի՝  $\alpha$  և  $\beta$  ֆունկցիաներն արտահայտվում են նյութի ծակոտկենության միջոցով, բավականին բարդ բանաձևով (1.19):

Բերված հետազոտությունների վերլուծությունը, որն անհրաժեշտ է ծակոտկեն ֆունկցիաների ընտրության համար, ցույց է տալիս, որ ավելի հիմնավորված և բավականին պարզ են [29] - ի կողմից առաջարկված կամ ծակոտկենության

մոտարկված (1.20) և (1.21) ֆունկցիաները ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսության առնչություններում:

Ծակոտկենության ֆունկցիաները տարբեր ազդեցություններ են թողնում նյութի լարվածադեֆորմացման վիճակի վրա [13]՝ օրինակ, ֆունկցիան հաշվի է առնում միջին լարման ազդեցությունը և ֆունկցիայի հետ համատեղ հնարավորություն է տալիս ստանալ նյութի իրական մեխանիկական բնութագրերը: Այդ պատճառով ծակոտկենության և ֆունկցիաները իրական ծակոտկեն նյութերի համար պետք է կախված լինեն ոչ միայն նյութի ծակոտկենությունից, այլ նաև այդ նյութերի ստացման պայմաններից: և ծակոտկենության ֆունկցիաների վրա ազդեցություն են թողնում նյութերի ձևավորման մեթոդները, մամլման տեխնոլոգիան և դրանց եռակալման ջերմաստիճանը, փոշիների հատիկների չափերը և ձևը, փորձանմուշի չափերը և նրա մակերևութային պայմանները:

Կարելի է առաջարկել նաև ծակոտկենության այլ՝ և ֆունկցիաներ, որոնք ըստ Գ.Լ. Պետրոսյանի [13], ապահովում են անցումը ոչ ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսության հավասարումներին [43] և փորձերով հաստատված են: Քանի որ ծակոտիների ձևի առանձնահատկությունները կախված են ոչ միայն նյութի փոշիների հատկություններից, այլ նաև դրանց ստացման տեխնոլոգիական գործընթացների պարամետրերից, ուստի ծակոտկենության ֆունկցիաների տեսքը ամեն անգամ կարող է փոխվել:

Յուրաքանչյուր մասնավոր դեպքում ծակոտկենության նոր ֆունկցիաների ընտրությունը բարդ է, որի պատճառով, անկախ ծակոտկեն նյութի առանձնահատկություններից, [13] - ում սկզբում ընտրում են հայտնի ավելի պարզ տեսքի ծակոտկենության ֆունկցիաներ, որից հետո իրական նյութերի ծակոտկենության առանձնահատկությունների հաշվառման համար (1.17) պլաստիկության պայմանում, տվյալ նյութի համար ներառում են հաստատուն ծակոտկենության  $m$  և  $n$  պարամետրերը: Այդ դեպքում պլաստիկության պայմանն ընդունում է հետևյալ տեսքը. [13]

$$, \quad (1.22)$$

որտեղ  $m$  և  $n$  պարամետրերը յուրաքանչյուր նյութի համար անհրաժեշտ է որոշել փորձնական ճանապարհով:

**1.4. Չեռակալված մետաղական փոշենյութերի պլաստիկության պայմանները**

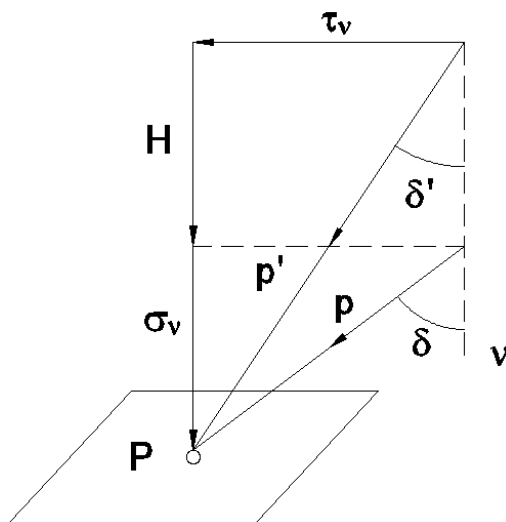
1. **Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը:** [66]-ում դիտարկվում է մետաղական փոշե միջավայրի որևէ կետ և ինչ-որ էլեմենտար հարթակ, որն անցնում է այդ կետով: Այդ կետում կիրառված է  $p$  իրական լարումը, որը նորմալի հետ կազմում է անկյուն  $\nu$  և ունի նորմալ և շոշափող բաղադրիչներ (նկ. 1.3):

Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանն ուղղիղ գծային կապ է հաստատում շոշափող լարման և նորմալ լարման բաղադրիչների միջև [66,67] (նկ. 1.4).

(1.23)

որտեղ  $\sigma_v$  - ն փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյունն է,  $\tau_v$  - ն՝ այդ հատիկների կառչման գործակիցը: Դրանք կարելի է համարել մետաղական փոշե միջավայրի սահքի դիմադրությունը բնութագրող պարամետրեր:

Մետաղական փոշե միջավայրում, որտեղ բացակայում է կառչումը ( $\tau_v = 0$ ), անվանում են իդեալական սորուն, իսկ միջավայրը, որտեղ բացակայում է ներքին շփումը ( $\sigma_v = 0$ )՝ իդեալական կապակցված (հոծ նյութ) [66]:



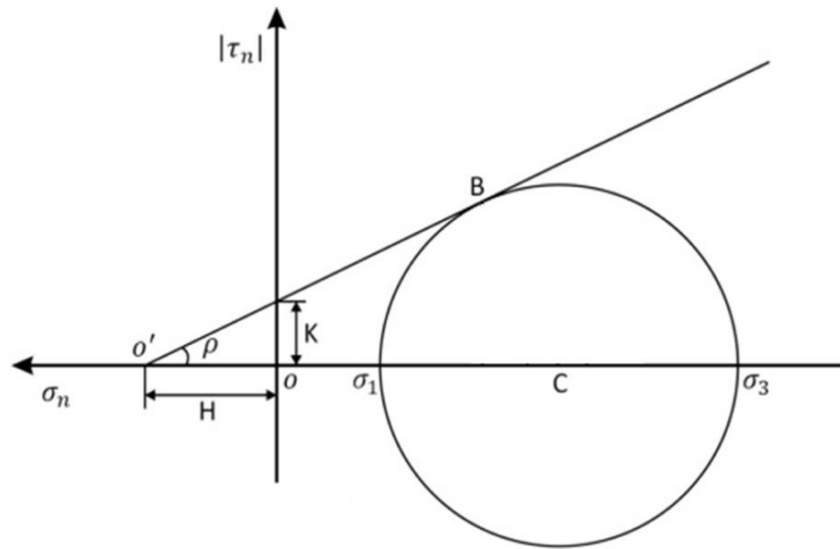
Նկ. 1.3. Մետաղական փոշե միջավայրի տարրական հարթակում



*լարվածային վիճակի սխեման [66]*

Նկ. 1.4 - ում և առանցքային համակարգում ցույց է տրված հարթ լարվածային վիճակի դեպքում Մորի շրջանագիծը և դրան շոշափող Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը պատկերող (1.23) բանաձևով որոշվող ուղիղ գիծը:

Նկ. 1.4 - ից երևում է, որ դիտարկվող հարթակում սահք տեղի չի ունենա, եթե :



*Նկ. 1.4. Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը պատկերող գրաֆիկը*

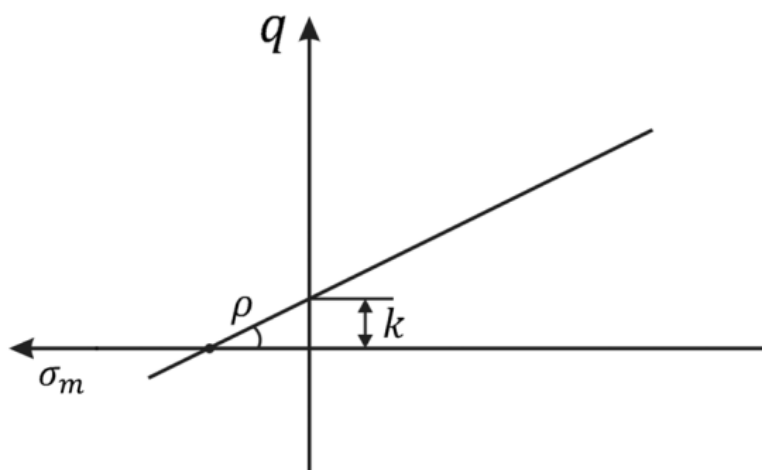
**2. Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանը:** Այն ուղիղ գծային կապ է հաստատում քառակուսի աստիճանի արմատ լարման շեղիչի (դեվիատորի) երկրորդ ինվարիանտի և միջին լարման միջև [65] (նկ. 1.5).

$$, \tag{1.24}$$

որտեղ գլխավոր լարումներով արտահայտված - ն և - ն ունեն հետևյալ տեսքը՝

$$q = \sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \tag{1.25}$$

$$: \tag{1.26}$$



Նկ. 1.5. Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանը պատկերող գրաֆիկը

Տեղադրելով  $\sigma_m$  և  $q$  - ի արժեքները (1.24) բանաձևում՝ կստանանք՝

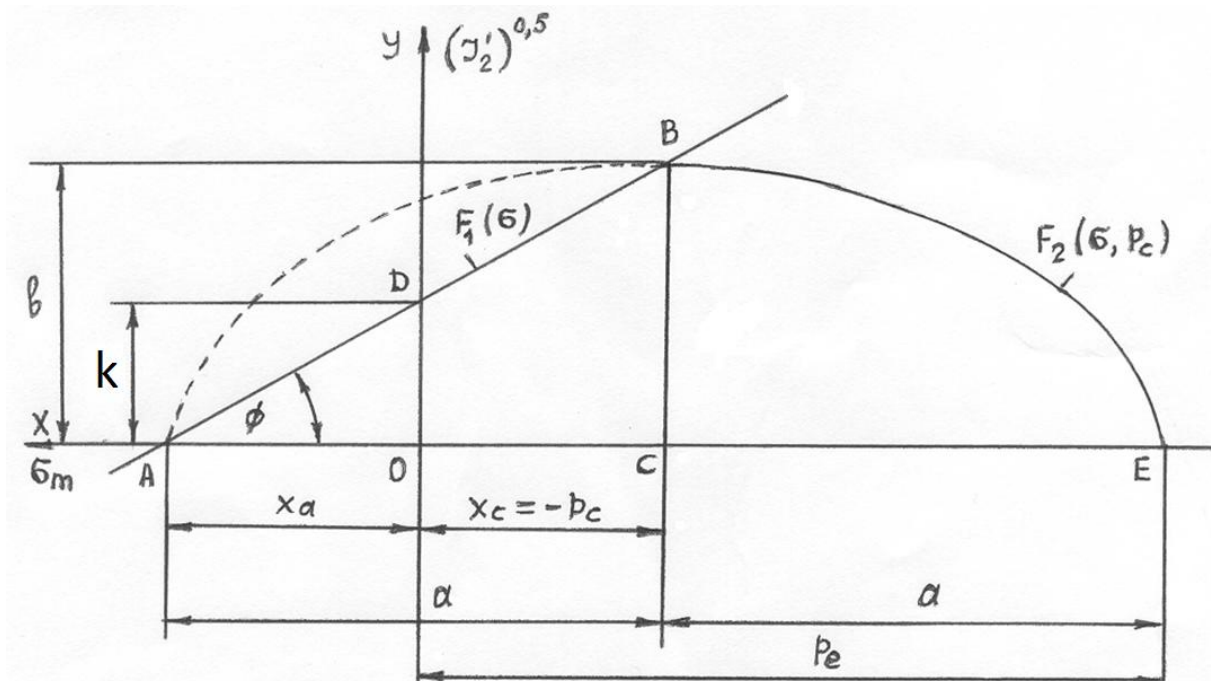
$$\sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \cos \rho - \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \sin \rho - k \text{ cc:} \quad (1.27)$$

**3. Մետաղական փոշիների բաղադրյալ մոդելի պարզ տեսական հիմնավորան առանձնահատկությունները:** Մետաղական փոշիների բաղադրյալ մոդելը զուգակցում է Սոր-Կուլոնի կամ Դրուկեր-Պրագերի և էլիպսաձև մակերևույթով արտահայտված մոդելը [70]: Այս մոդելը սեղմման մեծ պլաստիկ դեֆորմացիաների դեպքում հաշվի է առնում փոշենյութերի ամրացումը, որն իրականացվում է նշված հոսունության մակերևույթների սահմանի միջև: Դեֆորմացման ինչ-որ աստիճանում՝ տրված նյութի լարվածային վիճակի դեվիատորի և հիդրոստատիկ բաղադրիչների որոշակի արժեքների դեպքում փոխվում է հոսունության մակերևույթի ձևը [73]: Մետաղական փոշու բաղադրյալ մոդելների էլիպսային գծի տեսքի և չափի որոշման խնդիրների վերաբերյալ կան շատ տեսական և փորձնական ուսումնասիրություններ [72,74,79], հիմնականում դրանց մեջ հաշվի են առնվում նյութի իրական մեխանիկական հատկությունները: Հետազոտություններում կիրառում են տարբեր մեթոդներ էլիպսաձև մակերևույթի արտակենտրոնության պարամետրերի և էլիպսաձև գծի ճիշտ ձևի սահմանման համար: Նշենք, որ մետաղական փոշու համար պլաստիկ դեֆորմացիայի գործընթացները շատ բարդ են և դեռ լիովին ուսումնասիրված չեն:

Մետաղական փոշիների բաղադրյալ մոդելի հիմնավորման պարզ տեսական մեթոդի մասին [68,69]: Հայտնի է, որ XOY կոորդինատային համակարգում էլիպսի հավասարումը հետևյալն է՝

$$(1.28)$$

որտեղ  $a$  և  $b$  - ն էլիպսի կիսաառանցքներն են, իսկ  $\phi$  - ն՝ էլիպսի կենտրոնի արագիսը (նկ. 1.16):



Նկ. 1.6. Մետաղական փոշիների բաղադրյալ մոդելի հոսունության մակերևույթը կոորդինատներում

Կատարելով հետևյալ նշանակումները՝

և (1.28) հավասարումն ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$(1.29)$$

որտեղ  $\sigma$  - ը լարման դեվիատորի երկրորդ ինվարիանտն է (նշենք, որ լարման ինտենսիվությունը՝ [13]),  $\sigma_c$  - ը միջին լարումն է ( $\sigma_c = \sigma / 2$ ),  $\sigma_m$  - ը լարման թենզորի առաջին ինվարիանտն է, միջին լարման բացարձակ արժեքը՝  $\sigma_m = \sqrt{\sigma / 2}$  և

միջին լարման սահմանային արժեքն է հոսունության մակերևույթի ուղիղ գծի և էլիպսաձև կորի հատման կետում, - ն մետաղական փոշիների հատիկների միջև կառչման գործակիցն է, իսկ - ն` դրանց միջև ներքին շփման անկյունը:

$$\text{ուղիղ գծի հավասարումը՝ գրված հատվածի տեսքով, հետևյալն է՝} \tag{1.30}$$

և հետևաբար ստացվում է՝

$$(J_2')^{0,5} \text{ cc:} \tag{1.31}$$

Նշենք, որ (1.31) հավասարումը Մոր-Կուուլոնի գրաֆիկի պարզ տեսքն է [73]:

$$\text{Տեղադրելով (1.30) - ում կետի արացիսի արժեքը՝ ստացվում է այդ կետի օրդինատի արժեքը՝} \tag{1.32}$$

որը կլինի էլիպսի առաջին կիսաառանցքը:

Էլիպսի մյուս կիսաառանցքը որոշելու համար օգտվում են եռանկյունից (նկ. 1.6) և (1.32) - ից, որի համար :

$$\text{Հետևաբար, էլիպսի երկրորդ կիսաառանցքը կլինի՝} \tag{1.33}$$

(1.32) և (1.33) - ով որոշվող և մեծությունները տեղադրելով (1.29) - ում ստացվում է՝

$$J_2' / \text{tg}^2 \rho (k / \text{tg} \rho + p_c)^2 + (\sigma_m + p_c)^2 /: \tag{1.34}$$

(1.34) հավասարման մեջ տեղադրելով ` կատանանք հետևյալը՝

$$J_2' + M^2 (\sigma_m , \tag{1.35}$$

որը էլիպսաձև մակերևույթի ֆունկցիայի տեսքն է [68,69]:

Բաղադրյալ մոդելի գրաֆիկի կառուցման համար պետք է իմանալ փոշենյութի հատիկների միջև կառչման գործակցի, և դրանց միջև ներքին շփման անկյան

արժեքները և էլիպսաձև հոսունության մակերևույթի կենտրոնի դիրքը, որոնք կախված են դեֆորմացվող նյութի լարվածադեֆորմացիոն վիճակից:

### **1.5. Չեռակալված մետաղական փոշենմուշների փորձարկման և հատկությունների որոշման մեթոդները**

Չեռակալված մետաղական փոշենմուշների պլաստիկ դեֆորմացման փորձարարական մեթոդները հիմնականում վերաբերում են փոշենյութերի Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմաններում առկա նյութի հատկությունները բնորոշող և մեծությունների որոշմանը:

[94,55] - ում բերված մեթոդները նախատեսված են հանքային և չեռակալված փոշենյութերի հետազոտական և զանգվածային փորձարկումների համար՝ նպատակ ունենալով որոշել նմուշների ամրության սահմանները:

[94] – ում բերված է գլանական նմուշների քայքայման մեթոդը ծնորդով սեղմման դեպքում, որի էությունն է՝ չափել քայքայման այն ուժը, որը կիրառվում է նմուշի դեմհանդիման ուղղված պողպատե սալերի միջոցով:

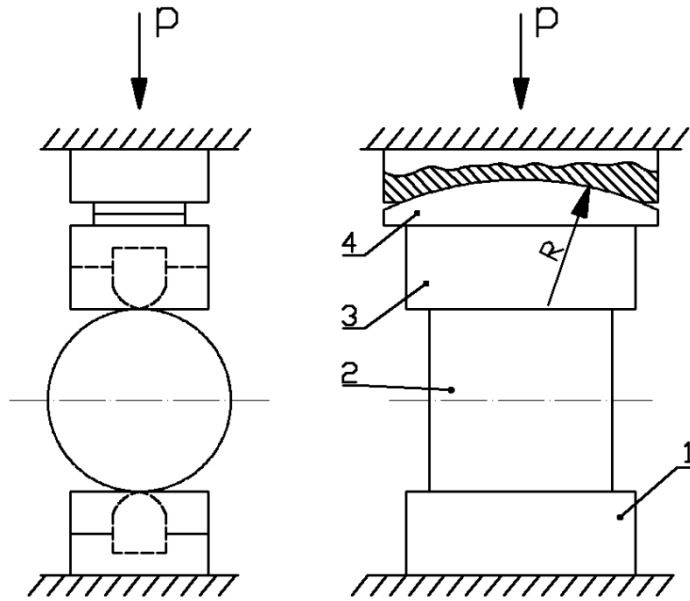
Նկ. 1.7 - ում պատկերված է ծնորդով սեղմման դեպքում փորձարարական սարքի սխեման [94], համաձայն որի 2 նմուշը տեղադրվում է փորձարարական սարքի (մամլիչի) հենարանային 1 և 3 միջադիր սալերի միջև: Նմուշը բեռնավորվում է հավասարաչափ մինչև քայքայումը, և գրանցվում է քայքայող P ուժը:

Նմուշի ամրության սահմանի լարումը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [94]՝

$$, \quad (1.36)$$

որտեղ - ն անչափ մասշտաբային գործակից է, իսկ - ը՝ նմուշի քայքայված մասի մակերեսը, վերջինս հավասար է նմուշի տրամագծի և երկարության արտադրյալին:

[94] - ում բերված է կամայական ձևի նմուշների՝ դեմհանդիման ուղղված զնդային իղենտորների միջոցով քայքայման մեթոդը:



Նկ. 1.7. Ծնորդով սեղմման դեպքում փորձարկման սարքի սխեման [94]

1 - ներքևի սալ, 2 - նմուշ, 3 - վերևի սալ, 4 - սեգմենտ

Նկ. 1.8 - ում պատկերված է նմուշների քայքայման փորձարարական սարքի սխեման [94], համաձայն դրա՝ 6 նմուշը տեղադրվում է փորձարարական սարքի (մամլիչի) վրա դեմհանդիման ուղղված գնդային իդենտորների միջև: Նմուշը բեռնավորվում է հավասարաչափ մինչև քայքայումը, և գրանցվում է քայքայող  $P$  ուժը:

Մեթոդի էությունն է՝ չափել քայքայման այն ուժը, որը կիրառված է նմուշի վրա դեմհանդիման ուղղված պողպատե գնդային իդենտորների միջոցով:

Փորձանմուշի ամրության սահմանի լարումը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

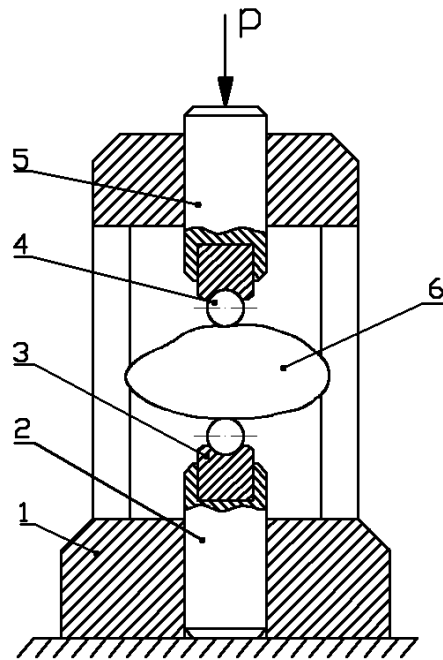
$$(1.37)$$

որտեղ  $\sigma$  - ն անչափ մասշտաբային գործակից է, իսկ  $\sigma_0$  - ը՝ նմուշի քայքայված մասի մակերեսը:

[95] - ում բերված է ձգման փորձը ծոման դեպքում, որի էությունն է՝ չափել նմուշի ամրության սահմանը մաքուր ծոման պայմանում:

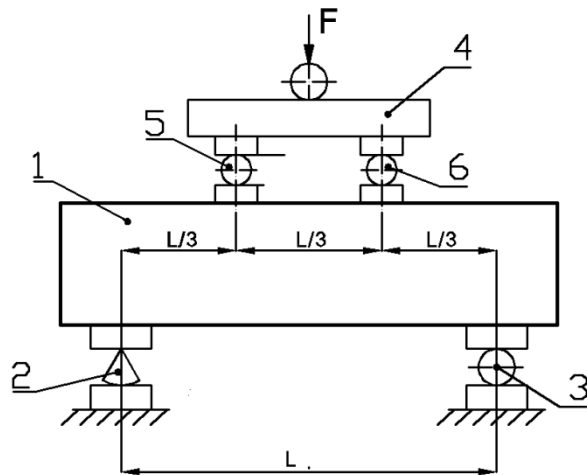
Նկ. 1.9 - ում պատկերված է մաքուր ծոմում ապահովող փորձարարական սարքի սխեման [95], համաձայն որի 1 նմուշը տեղադրվում է 2 անշարժ և 3 շարժական հողակապային հենարանների վրա, բեռը փորձարկվող հարմարանքով նմուշին

հաղորդվում է 4 լայնական միջնորմի միջոցով, որը տեղադրվում է 1 հեծանի կենտրոնում:



Նկ. 1.8. Կամայական ձևի նմուշների քայքայման փորձարկման սարքի սխեման [94]

1 - իրան, 2 - ներքևի կոթ, 3 - ներդրակ, 4 և 5 - վերևի կոթ, 6. - նմուշ



Նկ. 1.9. Չզույս ծունկի դեպքում փորձարարական սարքի սխեման [95]

1 - նմուշ, 2 և 5 - անշարժ հողակապային հենարաններ, 3 և 6 - շարժական հողակապային հենարաններ, 4 - լայնական միջնորմ

Նշված հարմարանքով նմուշի կենտրոնում ստեղծվում է մաքուր ծոռ, այսինքն՝ այդտեղ առաջանում է ներքին ուժային գործոններից միայն ծոռը մոմենտ, իսկ լայնական ուժը բացակայում է:

Մաքուր ծոռան դեպքում նմուշի ամրության սահմանը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [95]՝

$$, \quad (1.38)$$

որտեղ  $\sigma$  - ը քայքայող ուժն է,  $\sigma_0$  - ն մասշտաբային գործակից է,  $\sigma_1$  - ն ուղղիչ գործակից է,  $\sigma_2$  և  $\sigma_3$  - ն՝ համապատասխանաբար նմուշի լայնական հատույթի լայնությունը և բարձրությունը:

[4,5] – առաջին անգամ մշակվել են փոշեմետալուրգիայի ընդհանուր գիտական և տեխնոլոգիական հիմունքները, որոնցում վերլուծվել են ինչպես հեղինակների հետազոտությունների արդյունքները, այնպես էլ գրականությունում հայտնի բազմաթիվ հեղինակների կողմից ստացված տվյալները:

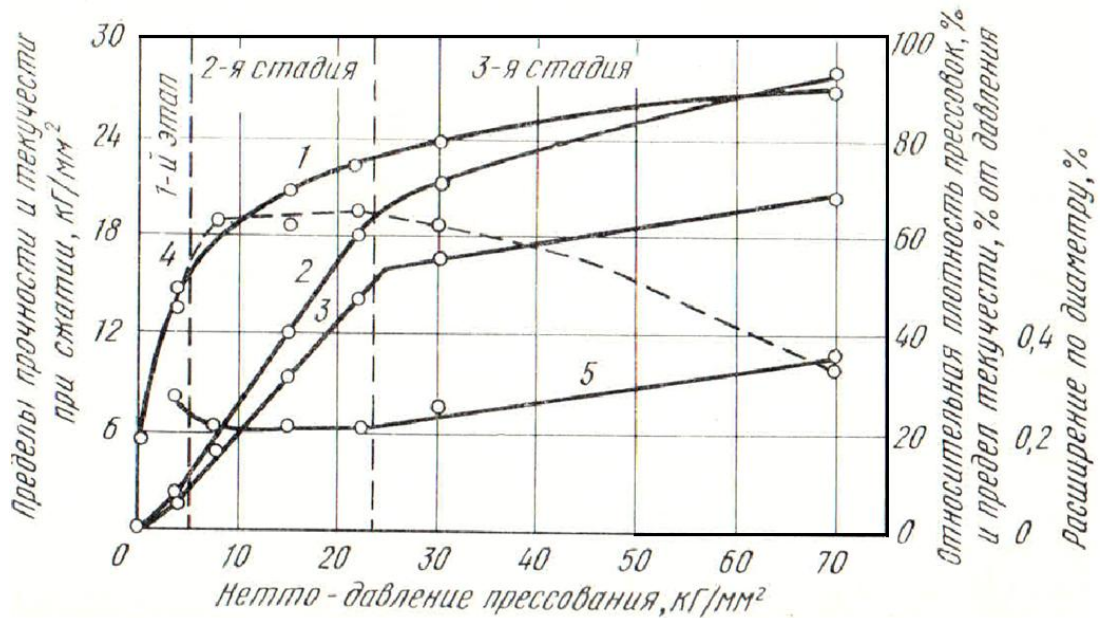
Քննարկվել են ծակոտկեն նյութի փորձարարական հատկությունները, որոնք համեմատվել են ինչպես համապատասխան հոծ մետաղի տվյալների, այնպես էլ տարբեր հեղինակների կողմից առաջարկված ծակոտկեն նյութերի տեսականորեն ստացված բանաձևերի արդյունքների հետ:

Մասնավոր դեպքում [5] - ում փոշու մասնիկը փոշենյութերում համեմատվում է հոծ մետաղի հատիկի հետ, որով ցույց է տրվում դրանց միջև տարբերությունը.

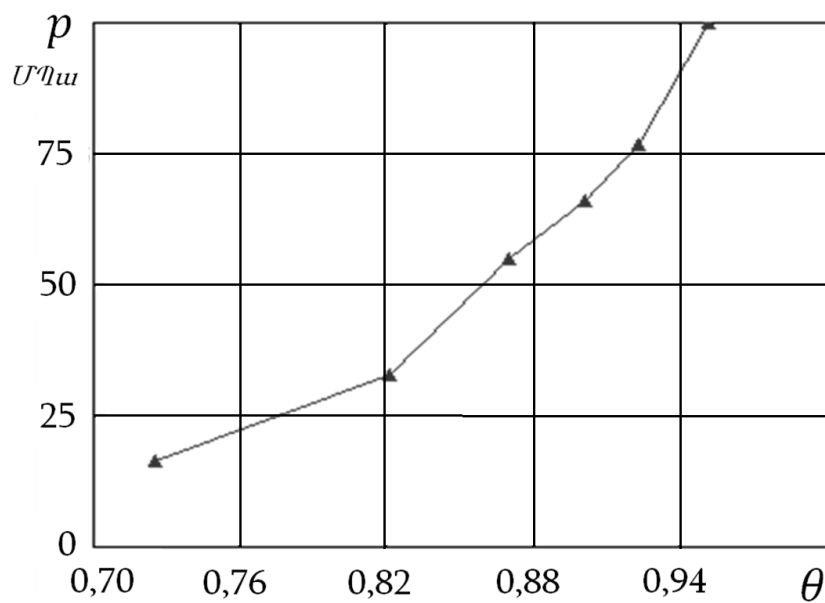
1. Հոծ մետաղի հատիկների միջև կապն իրականացվում է դրանց ամբողջ մակերևույթով, այն դեպքում, երբ փոշիներինը՝ իրենց մակերևույթի մի մասով:
2. Հոծ մարմնում հատիկներն իրար հետ կոշտ միացված են, իսկ փոշիների միջև կապը կոշտ-շարժական է, ինչի պատճառով փոխվում են հպակային մակերևույթի մեծությունը և փոշենյութի ծավալը:
3. Փոշու մասնիկները փոշենյութի ծավալում հոծի նման լրիվ լցված չեն (ծավալի մնացած մասը ծակոտիներ են), այդ պատճառով փոշենյութի մեխանիկական հատկությունները կազմում են համապատասխան հոծ նյութի հատկությունների մի մասը:



Առանձնահատուկ կարելի է նշել [5] – ում բերված էլեկտրոլիտային պղնձե փոշու մամլվածքի հատկությունների և դրա սառը ձևավորման գործընթացների տարբեր փուլերին վերաբերող տվյալները (նկ. 1.10):



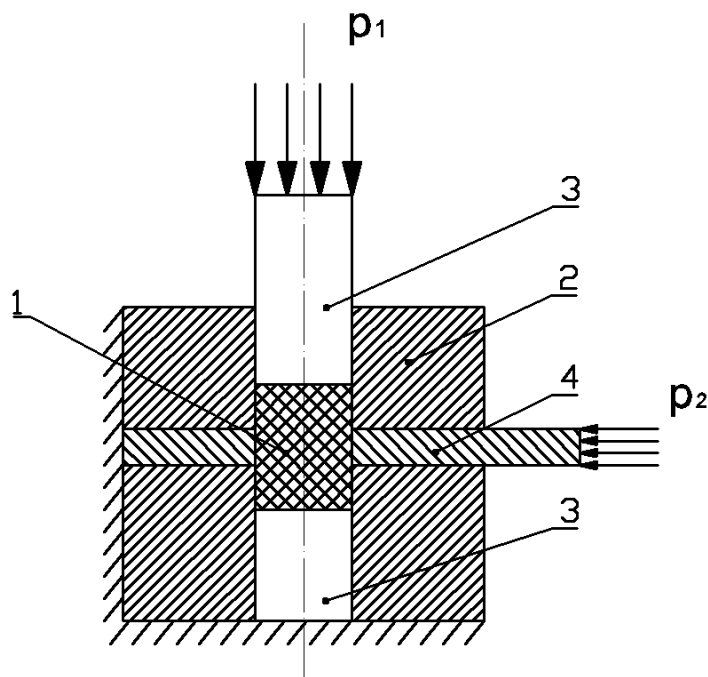
Նկ. 1.10. Մամլվածքի հատկությունների կախվածությունը ճնշումից երեք փուլում.  
 1 – հարաբերական խտություն, 2 – ամրության սահմանը սեղմման դեպքում, 3 – հոսունության սահմանը սեղմման դեպքում, 4 – հոսունության սահմանը՝ ճնշումից կախված, 5 – սեղմման դեպքում տրամագծով ընդարձակումը



Նկ. 1.11. Փոշիացված անագի սառը խտացման փորձարարական տվյալները [4]

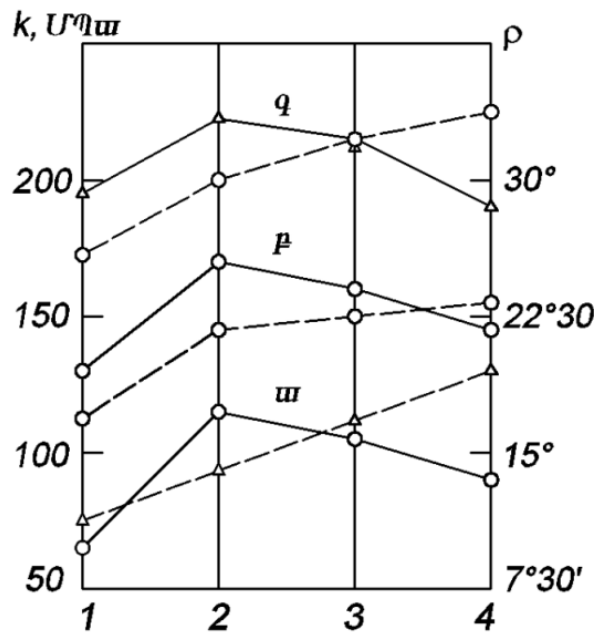
Դրա համար [67] - ում օգտագործվել է նկ. 1.12 - ում պատկերված սահքի հիդրավլիկական տեղակայանքը, ըստ որի 1 չեռակալված փոշենմուշը 2 մամլակաղապարում մամլվում է 3 մամլամատով և սահքի է ենթարկվում 4 դանակով: Ընդ որում, ճնշումն իրականացվում է - ի հետ միաժամանակ, ինչի պատճառով այդ մամլակաղապարի օգտագործումը գործնականում կապված է որոշակի դժվարությունների հետ:

և մեծությունների արժեքները, որոնք ստացվել են փորձերում դիտարկված տարբերակների համար, նախնական տվյալների փոփոխությամբ, բերված են նկ. 1.13 - ում (հոծ գծերը վերաբերում են - ին, իսկ ընդհատ գծերը՝ - ին): Կոշտ մամլամայրում ձևավորված գլանական բրիկետները (մամլված մինչև ա) - 60%, բ) - 70%, գ) - 80% խտությամբ), որոնք պատրաստված են կարբոնիլային B3 երկաթի փոշուց (նկ. 1.13 - ի հորիզոնական առանցքի 1 կետը) և վերականգնված տարբեր մասնիկների չափերով ПЖ2М երկաթի փոշուց՝ 0,020մմ (2), 0,016մմ (3) և 0,012մմ (4), ենթարկվել են սահքի նմուշի մամլման առանցքին ուղղահայաց հարթության մեջ առանցքային ճնշման տարբեր մեծությունների պայմաններում (նկ. 1.13):



Նկ. 1.12. Փոշենմուշների հատկությունների որոշման սահքի

## տեղակայանքի սխեման [67]



Նկ. 1.13. Տարբեր տեսակի և չափերի երկաթե փոշուց մամլված բրիկետների մեխանիկական հատկությունները [67]

Ըստ գրաֆիկից սկզբնական փոշենյութի մասնիկների ձևի և չափերի փոփոխությունը զգալի չափով է ազդում և մեծությունների շեղման վրա ուսումնասիրված միջակայքում ծակոտիների տոկոսային պարունակության նվազմանը համընթաց: Մարմնի խտության մեծացումը հանգեցնում է կառչման գործակցի մեծությունների համահարթեցման փոշու հատիկների ձևի նկատմամբ: [67] - ում նշվում է, որ պետք է ուշադրություն դարձնել ՈՋ2Մ փոշու տարբեր չափամասերից մամլված ծակոտկեն մարմինների և գործակիցների փոխադարձ փոփոխության վրա: Փոշենյութի բոլոր դիտարկված խտությունների համար հատիկների չափերի փոփոխությունը բերված է կառչման գործակցի հարաբերական փոքրացմանը և ներքին շփման անկյան նշանակալի աճին:

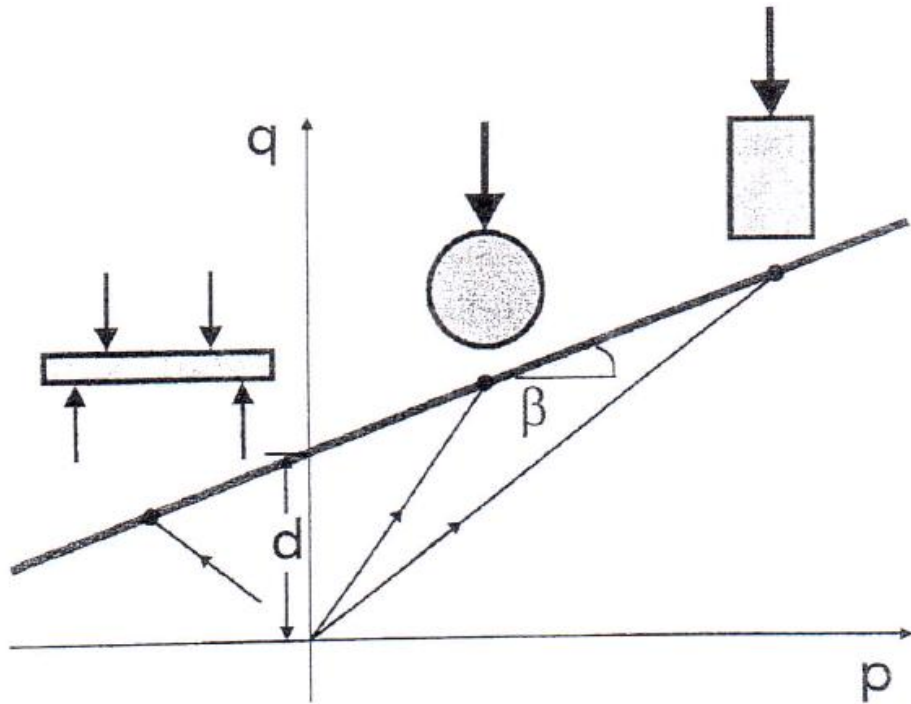
Պետք է նշել, որ այն փոշենյութերի համար, որոնք բաղկացած են միևնույն ձևի և քիմիական բաղադրության մասնիկներից, այդ տիպի պարամետրերի փոխադարձ փոփոխությունը՝ որպես այլ տեխնոլոգիական գործոնների ֆունկցիաների փոփոխություն, համարվում է ընհանուր:

Բոլոր այն պատճառները, որոնք առաջացնում են նյութի կառչման գործակցի մեծացում, այդ թվում նաև մարմինների ծակոտկենության փոքրացում, հանգեցնում են համապատասխան - ի արժեքի նվազմանը և հակառակը: Ներքին շփման անկյան

- ն որոշված է եղել նախօրոք, որպես համեմատականության գործակից, որը մարմնի սահքի մակերևույթների վրա սահքի դեֆորմացիայի դիմադրության աճը կապում է սեղմող լարումների աճի հետ: Քանի որ մարմնում կառչման գործակցի աճին զուգընթաց փոքրանում է - ի ազդեցությունը միջավայրի ընդհանուր ամրության վրա, ըստ (1.23) - ի, ապա փոքրանում է նաև անկյան մեծությունը: - ի աճի բնույթը ինչպես - ի ֆունկցիան հիմնված է փոշենյութի սեղմելիության հատկության վրա, իսկ վերջինս բնականաբար ավելի ամուր նյութի համար քիչ ինտենսիվությամբ է կապված լարումների թենզորի գնդային բաղադրիչի փոփոխության հետ:

- ի մեծության համեմատաբար մեծ արժեքներն այն մանվածքների համար, որոնք պատրաստված են փոշու մանր չափամասերից, և դրա հետ կապված - ի փոքր արժեքները հաստատում են այն, որ դիտարկված միևնույն խտությամբ նյութերի համար խտացման ինտենսիվությունը փոքրանում է հատիկի չափերի մեծացմանը զուգընթաց:

[36] - ում տարբեր լարվածային վիճակներում գտնվող ծակոտկեն սեղմելի մարմինների փորձարկման միջոցով կառուցվում է Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանը պատկերող գրաֆիկը, որի միջոցով որոշվում են փոշենյութի հատկությունները բնորոշող և մեծությունները (նկ. 1.14):



Նկ. 1.14. Կլոր հատույթով փոշենմուշի առանցքային և տափօղակի շառավղային սեղմման, ինչպես նաև ուղղանկյուն հատույթով փոշենմուշի մաքուր ծոման փորձարկումների տվյալներով Դրուկեր – Պրագերի պլաստիկության պայմանի և պարամետրերի մեծությունների որոշման գրաֆիկը [36]

[36] – ում կատարված կլոր հատույթով փոշենմուշների առանցքային և տափօղակների շառավղային սեղմման, ինչպես նաև ուղղանկյուն հատույթով փոշենմուշների մաքուր ծոման փորձարկումների տվյալները բերված են աղ. 1.1 – 1.3 – ում, որտեղ - ն փոշենմուշի խտությունն է, - ը՝ քայքայող ուժը, - ն՝ քայքայման լարումը, - ը՝ միջին լարումը, իսկ - ն՝ լարումների դեվիատորի երկրորդ ինվարիանտը:

## Աղյուսակ 1.1

Տարբեր խտությամբ 10 մմ բարձրությամբ և 8 մմ տրամագծով կլոր հաստությամբ չեռակալված փոշենմուշների միատանցք սեղմման փորձարարական տվյալները [36]

	Dichte $\rho$	Bruchkraft F	Bruchspannung $\sigma$	$p$	$q$
Proben-Nr.	[g/cm <sup>3</sup> ]	[N]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
d_es1x2	1.81	378.2	7.4217		
d_es1x3	1.80	377.4	7.4060		
d_es1x4	1.80	364.8	7.1587		
<b>Mittelwert</b>	<b>1.81</b>	<b>373.5</b>	<b>7.3288</b>	<b>2.4429</b>	<b>7.3288</b>
d_es2x1	1.91	601.6	11.7472		
d_es2x2	1.92	611.6	11.9424		
d_es2x3	1.91	592.6	11.5714		
d_es2x4	1.92	593.0	11.5792		
<b>Mittelwert</b>	<b>1.92</b>	<b>599.7</b>	<b>11.7100</b>	<b>3.9034</b>	<b>11.7101</b>
d_es3x1	1.71	236.4	4.6506		
d_es3x2	1.71	231.6	4.5561		
d_es3x4	1.71	227.8	4.4814		
<b>Mittelwert</b>	<b>1.71</b>	<b>231.9</b>	<b>4.5627</b>	<b>1.5209</b>	<b>4.5627</b>
d_es4x1	1.85	479.2	9.3687		
d_es4x2	1.86	479.8	9.3804		
d_es4x3	1.85	454.0	8.8760		
d_es4x4	1.85	457.8	8.9503		
<b>Mittelwert</b>	<b>1.85</b>	<b>467.7</b>	<b>9.1439</b>	<b>3.0480</b>	<b>9.1439</b>

## Աղյուսակ 1.2

Տարբեր խտությամբ 10 մմ տրամագծով և 12 մմ հաստությամբ չեռակալված փոշենյութից տափօղակների շառավղային սեղմման փորձարարական տվյալները [36]

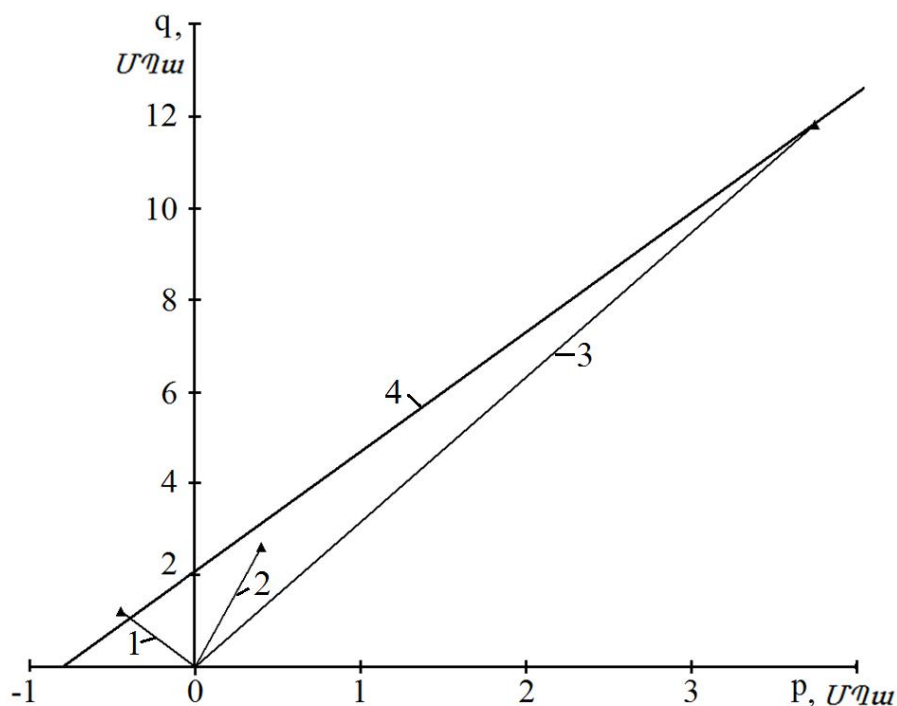
Probe	Dichte $\rho$	Bruchkraft F	Bruchspannung $\sigma$	$p$	$q$
	[g/cm <sup>3</sup> ]	[N]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
s_es1x1	1.79	76.2	0.2503		
s_es1x2	1.79	105.8	0.3485		
s_es1x3	1.79	102.2	0.3366		
s_es1x4	1.79	105.6	0.3475		
<b>Mittelwert</b>	<b>1.79</b>	<b>97.5</b>	<b>0.3207</b>	<b>0.2138</b>	<b>1.1564</b>
s_es2x1	1.89	224.8	0.7357		
s_es2x2	1.90	198.0	0.6508		
s_es2x3	1.90	211.4	0.6953		
s_es2x4	1.90	187.8	0.6171		
<b>Mittelwert</b>	<b>1.90</b>	<b>205.5</b>	<b>0.6747</b>	<b>0.4498</b>	<b>2.4328</b>
s_es3x1	1.70	56.2	0.1852		
s_es3x2	1.70	55.6	0.1833		
s_es3x3	1.70	53.4	0.1761		
s_es3x4	1.70	60.2	0.1987		
<b>Mittelwert</b>	<b>1.70</b>	<b>56.4</b>	<b>0.1859</b>	<b>0.1239</b>	<b>0.6701</b>
s_es4x1	1.83	132.8	0.4367		
s_es4x3	1.83	134.2	0.4413		
s_es4x4	1.83	141.6	0.4657		
<b>Mittelwert</b>	<b>1.83</b>	<b>136.2</b>	<b>0.4479</b>	<b>0.2986</b>	<b>1.6149</b>

## Աղյուսակ 1.3

Տարբեր խտությամբ 25 մմ երկարությամբ, 5 մմ հաստությամբ և 7 մմ լայնությամբ ուղղանկյուն հատույթով չեռակալված փոշենմուշների մաքուր ծոման փորձարարական տվյալները [36]

Probe	Dichte	Bruchkraft F	Bruchspannung $\sigma$	Bemerkung	p	q
	[g/cm <sup>3</sup> ]	[N]	[MPa]		[MPa]	[MPa]
4P_ES1x1	1.83	14.500	1.57298	nicht gültig		
4P_ES1x2	1.83	11.275	1.22256		-0.4075	1.22256
4P_ES1x3	1.82	8.155	0.87246	nicht gültig		
4P_ES1x4	1.81	14.66	1.55547	nicht gültig		
4P_ES2x1	1.74	7.235	0.81002		-0.270	0.81002
4P_ES2x2	1.74	5.825	0.63793	nicht gültig		
4P_ES2x3	1.74	6.405	0.70072		-0.2336	0.70072
4P_ES2x4	1.74	7.305	0.80078		-0.267	0.80078
4P_ES3x1	1.76	7.525	0.81339		-0.2711	0.81339
4P_ES3x2	1.76	7.205	0.77640	nicht gültig		
4P_ES3x3	1.75	7.015	0.74864	nicht gültig		
4P_ES3x4	1.76	7.555	0.81310		-0.271	0.81310
4P_ES4x1	1.80	8.485	0.91821		-0.3061	0.91821
4P_ES4x2	1.79	7.06	0.74930	nicht gültig		
4P_ES4x3	1.73	5.885	0.63210		-0.2107	0.63210
4P_ES4x4	1.74	6.115	0.71061		0.2369	0.71061
1	1.71	4.835	0.47569	nicht gültig		
2	1.70	6.53	0.66847		-0.2228	0.66847
3	1.67	5.365	0.55124	nicht gültig		
4	1.63	10.1	1.03483	nicht gültig		

Օգտագործելով [36] – ում բերված վերը նշված փորձարկումների տվյալները՝ մեր կողմից կառուցվել է Դրուկեր–Պրագերի պլաստիկության պայմանի գրաֆիկը (նկ. 1.15 - ի ուղիղ գիծ 4 - ը), որտեղ 1 - ը համապատասխանում է ուղղանկյուն հատույթով փոշենմուշի մաքուր ծոման փորձարկումների տվյալներին, 2 - ը՝ տափօղակի շառավղային սեղմման և 3 - ը՝ կլոր հատույթով փոշենմուշի առանցքային սեղմման:



Նկ. 1.15. [36] – ի փորձարարական տվյալների հիման վրա կառուցված  
Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի գրաֆիկը

### Եզրահանգում և հետազոտման խնդրի դրվածքը

Բերված աշխատանքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ չեռակալված փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների հետազոտությունները դեռևս զարգացման կարիք ունեն՝ հիմնականում դրանց պարզեցման և ամենանպատակահարմար պլաստիկության պայմանների ընտրման տեսանկյունից: Մյուս կողմից՝ տեսականորեն քիչ են ուսումնասիրված գործնականում մեծ կիրառություն ունեցող չեռակալված փոշենյութերի տեխնոլոգիական խնդիրները՝ համապատասխան պլաստիկ դեֆորմացման տեսությունների բարդության, նյութերի իրական հատկությունների հաշվառման դժվարությունների և տեխնոլոգիական գործընթացների բազմազանության պատճառով:

Այդ տեսակետից ներկայացված ատենախոսությունում լուծվել են հետևյալ խնդիրները. չեռակալված մետաղական փոշենյութերի Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների օգտագործման առանձնահատկությունների ուսումնասիրություն տարբեր լարվածային վիճակների դեպքում, չեռակալված



մետաղական փոշենյութից սնամեջ գնդի լարվածային վիճակի և դրա սահմանային դեպքի հետազոտում եռառանցք հավասարաչափ սեղմման դեպքում, կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված մետաղական փոշենմուշի մամլման գործընթացի վերլուծական մեթոդով և ԱՕՄ - ում մոդելավորմամբ ուսումնասիրում՝ հաշվի առնելով, հպակային շփումը, ինչպես նաև չեռակալված մետաղական փոշենյութի մեխանիկական հատկությունները բնութագրող փոշու հատիկների միջև շփման անկյան և դրանց կառչման գործակցի որոշման մեթոդների առաջարկը:

## **ԳԼՈՒԽ 2. ՀՈԾ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԵՎ ՓՈՇԵՆՅՈՒԹԵՐԻ ՊԼԱՍՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

### **2.1. Չեռակալված մետաղական փոշենյութերի գլխավոր լարումներով արտահայտված Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի պարզ հիմնավորումը**

Այս բաժնում չեն քննարկվում փոշիների պլաստիկ դեֆորմացիայի և լարումների բաղադրիչների միջև առնչությունների ստացման ու օգտագործման, ինչպես նաև ընթացիկ ծակոտկենության որոշման հարցերը, որոնցով ձևավորվում է չեռակալված ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսությունը: Նշենք միայն, որ այդ հարցերը բավականին մանրամասն վերլուծվել են [68,69] - ում:

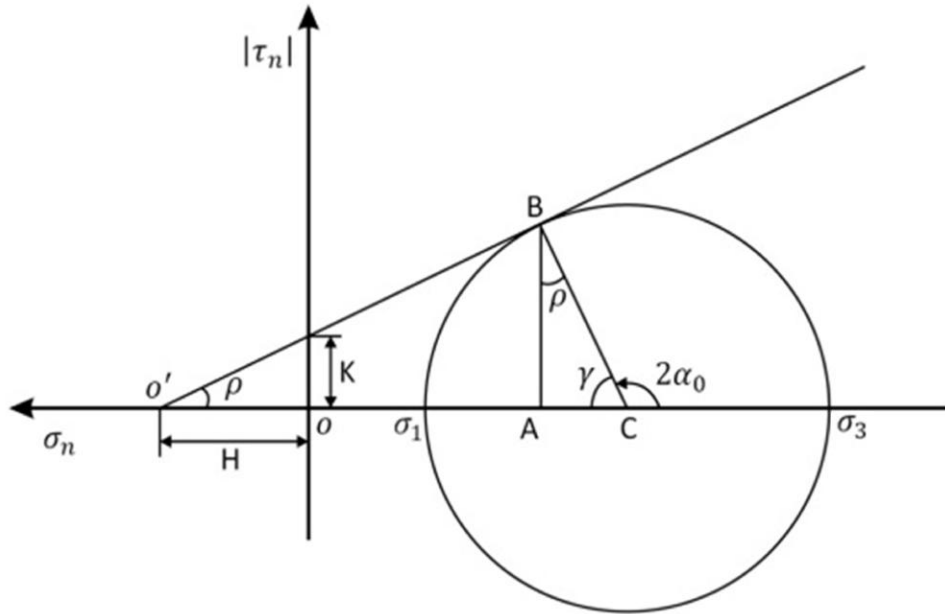
Փոշու մշակման տեխնոլոգիական գործընթացների հետազոտման համար օգտագործվում են փոշու միջավայրի Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի [66,67] պլաստիկության պայմանները:

Այս բաժնում օգտագործելով թեք հարթակների դիրքի որոշման և փոշենյութի մասնիկների ներքին շփման անկյան միջև եռանկյունաչափական առնչությունները՝ հիմնավորվել է գլխավոր լարումներով արտահայտված Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը:

Ինչպես նշվել է 1.3. ենթաբաժնում, Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը ուղիղ գծային կապ է հաստատում շոշափող լարման և նորմալ լարման բաղադրիչների միջև (նկ. 2.1) [66,67].

$$: \quad (2.1)$$

Նկ. 2.1 - ում և առանցքային համակարգում ցույց է տրված հարթ լարվածային վիճակի դեպքում Մորի շրջանագիծը և դրան շոշափող Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը պատկերող (2.1) բանաձևով որոշվող ուղիղ գիծը:



Նկ. 2.1. Մոր-Գուլոնի պլաստիկության պայմանը պատկերող գրաֆիկը

Նկ. 2.1 - ում  $\rho$  - ն թեք հարթակի դիրքի որոշման անկյունն է:

Հայտնի է, որ թեք հարթակներում լարումների որոշման համար գոյություն ունեն հետևյալ բանաձևերը [39]՝

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{2\sigma_3 \sin^2 \alpha_0}{1 - \sin^2 \alpha_0} \cos 2\rho, \quad \sigma_2 = \sigma_3 + \frac{2\sigma_3 \sin^2 \alpha_0}{1 - \sin^2 \alpha_0} \sin 2\rho, \quad (2.2)$$

որոնցով հնարավոր է (2.1) պլաստիկության պայմանը ներկայացնել գլխավոր լարումներով: Սակայն այդ դեպքում (2.1) – ում կմասնակցեն թեք հարթակների դիրքի որոշման անկյունով արտահայտված  $\sigma_1$  և  $\sigma_2$  մեծությունները: Նկ. 2.1 - ում ABC եռանկյան միջոցով հնարավոր է այդ մեծություններն արտահայտել փոշուներքին շփման անկյան միջոցով: Ըստ եռանկյուն  $ABC$  - ի՝  $\tan \rho = \frac{K}{H}$ , իսկ մյուս կողմից՝  $\tan \gamma = \frac{K}{AC}$ , հետևաբար.

$$\tan \rho = \frac{AC}{AB} \tan \gamma, \quad (2.3)$$

Ստորև եռանկյունաչափական տեսքով ներկայացված են  $\sigma_1$  - ի և  $\sigma_2$  - ի միջև կապերը.

$$\begin{cases} \sin 2\rho \\ \cos 2\rho \end{cases} \quad (2.4)$$

Հաշվի առնելով, որ  $\sigma_3 - \sigma_1$ , ինչպես նաև (2.2) և (2.4) բանաձևերը, (2.1) պալաստիկության պայմանը որոշակի ձևափոխություններ կատարելուց հետո ներկայացվում է հետևյալ տեսքով.

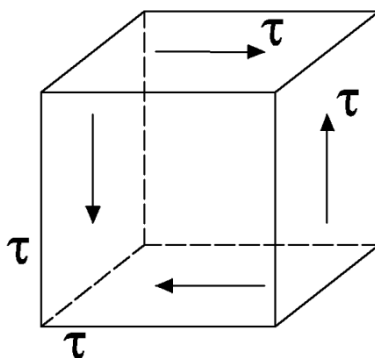
$$|\sigma_3 - \sigma_1| \quad (2.5)$$

Գնահատելով տվյալ լարվածային վիճակի համար գլխավոր լարումների մեծությունները՝ (2.5) - ից կապ կստեղծենք տարբեր բեռնվածությունների ենթարկվող փորձանմուշներում առաջացող լարումների և փոշու հասկությունները բնորոշող և պարամետրերի միջև:

**2.2. Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների հիման վրա տարբեր պարզ լարվածային վիճակների հաշվարկի օրինակներ**

Դիտարկենք չեռակալված նմուշների բեռնավորման հետևյալ լարվածային վիճակները ըստ Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի (2.5).

ա) Մաքուր սահքի դեպքում (նկ. 2.2) գլխավոր լարումներն են՝  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ,  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau$  :



Նկ. 2.2. Մաքուր սահքի տարրը

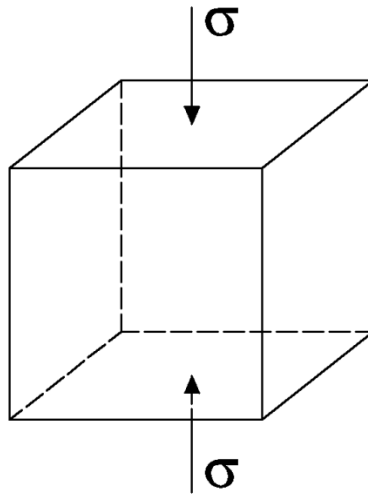
Օգտվելով (2.5) հավասարումից, կստանանք՝

$$|\tau - \tau| = 0$$

,

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.6)$$

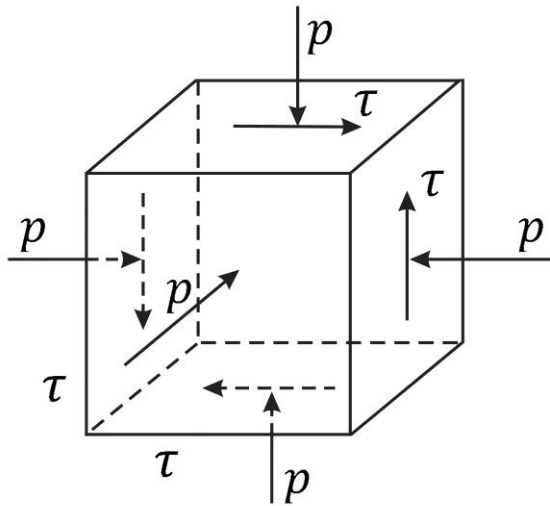
բ) Միառանցք սեղմում (նկ. 2.3)՝ , , ինչը հնարավորություն է տալիս (2.5) - ից ստանալ.



Նկ. 2.3. Միառանցք սեղմման տարրը

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.7)$$

գ) Մաքուր սահքի և հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցության դեպքում (նկ. 2.4) , , , հետևաբար, ըստ (2.5) - ի կունենանք՝



Նկ. 2.4. Մաքուր սահքի և հիդրոստատիկ ճնշման համատեղման տարրը

$$|\tau - p + \tau + p| = (\tau - p -$$

$$\tau = (kctg\epsilon,$$

(2.8)

Հետևաբար, գլխավոր լարումները կընդունեն հետևյալ տեսքը.

Դիտարկենք նույն լարվածային վիճակներն ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի (1.24) – (1.27).

ա) Մաքուր սահքի դեպք ( , , ):

Որոշելով և - ի արժեքները՝

$$q = \sqrt{\frac{1}{6}[(\tau - 0)^2 + (0 + \tau)^2 + (\tau + \tau)^2]} = \sqrt{\frac{1}{6}(\tau^2 + \tau^2 + 4\tau^2)},$$

$$\sigma_m = \frac{\tau + 0 + (-\tau)}{3} = 0$$

և դրանք տեղադրելով Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանում, կստանանք՝

): (2.9)

բ) Միառանգք սեղմման դեպք ( , ):

Որոշելով  $q$  և  $\sigma_m$  - ի արժեքները՝

$$q = \sqrt{\frac{1}{6}[(0-0)^2 + (0+\sigma)^2 + (-\sigma-0)^2]},$$

$$\sigma_m = \frac{0+0-\sigma}{3} = -\frac{\sigma}{3}$$

և դրանք տեղադրելով Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանում, կստանանք՝

$$\begin{aligned} & \sigma^2 + \frac{1}{3}\sigma^2 = \sigma^2 \\ & \sigma^2 = \sigma^2 \\ & \sigma = \sigma \end{aligned} \quad (2.10)$$

գ) Մաքուր սահքի և հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցության դեպք ( , , ):

Որոշելով  $q$  և  $\sigma_m$  - ի արժեքները՝

$$q = \sqrt{\frac{1}{6}[(\tau-p+p)^2 + (-p+\tau+p)^2 + (-\tau-p)^2]},$$

$$\sigma_m = \frac{\tau-p-p-\tau-p}{3} = -p$$

և դրանք տեղադրելով Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանում, կստանանք՝

$$\sigma^2 + \frac{1}{3}\sigma^2 = \sigma^2 \quad (2.11)$$

Այդ դեպքում գլխավոր լարումները կրնդունեն հետևյալ տեսքերը.

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$$

Այսպիսով, բացահայտվել է փոշիների Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի ստացման առանձնահատկությունը: Մասնավորապես, եռանկյունաչափական

ձևափոխություններով դուրս է բերվել թեք հարթակների լարումների որոշման անկյան և նյութի մասնիկների միջև շփման անկյան կապի բանաձևերի համակարգ:

Ստացված բանաձևերով կատարվել են նաև թվային հաշվարկներ փոշու և գործակիցների տարբեր արժեքների համար [67], որոնց արդյունքները բերված են աղ. 2.1 - ում: Ընդ որում, տվյալներից առանձնահատուկ ուշադրության են արժանի փոշեմիջավայրի իդեալական սորուն ( և ) և իդեալական կապակցված ( և ) դեպքերը:

Աղ. 2.1 - ի տվյալները ցույց են տալիս, որ երեք լարվածային վիճակների դեպքերում չեռակալված փոշենյութերի Մոր–Կուլոնի և Դրուկեր–Պրագերի պլաստիկության պայմանների օգտագործմամբ ստացված արդյունքների միջև առավելագույն տարբերությունը կազմում է 13 տոկոս:

Այսպիսով, վերլուծվել են գործնականում մեծ կիրառություն ունեցող չեռակալված փոշենյութերի համար օգտագործվող Մոր–Կուլոնի և Դրուկեր–Պրագերի պլաստիկության պայմանները, փոշենյութերից նմուշների բեռնավորման տարբեր դեպքերում լուծվել են օրինակներ: Կատարվել են թվային հաշվարկներ, կազմվել են աղյուսակներ և ստացված տվյալները համեմատվել են:

*Աղյուսակ 2.1*

*Ըստ Մոր– Կուլոնի (ա) և Դրուկեր– Պրագերի (բ) պլաստիկության պայմանների, փոշու և գործակիցների [67] տարբեր արժեքների դեպքում երեք լարվածային վիճակների համար կատարված հաշվարկները*

$\rho$		2	1	1	1	0 <sup>0</sup>	5
, ՄՊա		65	115	105	80	50	0
Մաքուր սահք	ա)	61	110	102	78	50	0



( , ՄՊա)	բ)	65	115	105	80	50	0
Միառանցք սեղմում	ա)	91	170	164	130	100	0
( , ՄՊա)	բ)	93	169	159	123	87	0
Մաքուր սահքի և հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցություն, երբ ՄՊա	ա)	27	80	78	57	50	-8.716
( , ՄՊա)	բ)	28	84	80	59	50	-8.749

### 2.3. Հոծ նյութերի և փոշենյութերի պլաստիկության ընդհանրացված պայմանների մասին

Հայտնի է, որ կետում լարվածային վիճակը համարվում է նյութի մեխանիկական վիճակի փոփոխության հիմնական պատճառը (օրինակ, առանձգական վիճակից պլաստիկ վիճակի անցնելը), և խնդիրն այն է, որ պետք է սահմանել լարվածային վիճակի այնպիսի չափ, որին հասնելու դեպքում տեղի է ունենում այդ անցումը, այսինքն՝ ընտրել պլաստիկության պայման: Հոծ՝ պլաստիկ նյութերի համար, որոնք ունեն ձգման և սեղմման միևնույն դիմադրությունը, գրականությունում առաջարկվող բազում գիտավարկածներից առավելությունը տրվում է հետևյալ երկուսին. առավելագույն շոշափող լարումների և «էներգետիկ» պլաստիկության պայմաններին: Դրանք կոչվում են նաև համապատասխանաբար՝ Տրեսկա-Սեն-Վենանի և Հուբեր-Միգեսի պլաստիկության պայմաններ [43]:

Փոշենյութերի պլաստիկության պայմանները, լինելով նոր, ավելի քիչ են ուսումնասիրվել: Դրանք բաժանվում են երկու խմբի՝ եռակաված [50-64] և չեռակաված [65-71] փոշենյութերի պլաստիկության պայմաններ:

Եռակաված նյութերի պլաստիկության պայմաններն ավելի մանրամասն հետազոտվել են [13] - ում: Դրանք հոծ նյութերի պլաստիկության պայմանների համեմատությամբ համարվում են ընդհանրացված, քանի որ դրանց հիման վրա

ստեղծված ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության հոսունության [50-52,54-56,6162] և ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացիոն [53,58] տեսությունների բանաձևերում գոյություն ունեցող  $\nu$  ծակոտկենության բացակայության դեպքում վերածվում են հոծ նյութերի՝ համապատասխան դասական պլաստիկության տեսությունների բանաձևերի [43]:

Ինչ վերաբերում է չեռակալված փոշենյութերի համար գոյություն ունեցող պլաստիկության պայմանների հետազոտություններին, ապա դրանք ավելի քիչ են և կարիք ունեն հետագա ուսումնասիրման:

Այս բաժնի նպատակն է հոծ և չեռակալված փոշենյութերի համար գոյություն ունեցող պլաստիկության պայմանների օգտագործմամբ հետազոտել մաքուր սահքի ( , , ), միառանցք սեղմման ( , ) և մաքուր սահքի ու հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցության ( , , ) լարվածային վիճակները և վերլուծել ստացված արդյունքները:

Դրա համար նախ առաջին գլխից այստեղ բերենք հոծ նյութերի Տրեսկա-Սեն-Վենանի և Հուբեր-Միզեսի, ինչպես նաև չեռակալված փոշենյութերի Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանները.

**Տրեսկա-Սեն-Վենանի** պլաստիկության պայմանն է՝

$$: \tag{2.12}$$

**Հուբեր-Միզեսի**՝

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}: \tag{2.13}$$

**Մոր-Կուլոնի** պլաստիկության պայմանը և գլխավոր լարումներով արտահայտված՝

$$|\sigma_3 - \sigma_1|: \tag{2.14}$$

**Դրուկեր-Պրագերի**՝

$$, \tag{2.15}$$

որտեղ

$$q = \sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \cos \rho - \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \sin \rho - k \text{ cc} \quad (2.16)$$

$$\quad , \quad (2.17)$$

իսկ այդ պլաստիկության պայմանի վերջնական տեսքն է՝

$$\sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \cos \rho - \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \sin \rho - k \text{ cc} \quad (2.18)$$

Մաքուր սահքի ( , , ), միառանցք սեղմման ( , ) և մաքուր սահքի ու հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցության ( , , ) լարվածային վիճակների դեպքերում հոծ և չեռակալված փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման առանձնահատկությունները ուսումնասիրենք Տրեսկա-Սեն-Վենանի (ա), Հուբեր-Միզեսի (բ), Մոր-Կուլոնի (գ) և Դրուկեր-Պրագերի (դ) պլաստիկության պայմանների հիման վրա.

ա) Ըստ Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանի, այդ դեպքերում կատանանք.

$$\quad , \quad \text{և} \quad : \quad (2.19)$$

բ) Ըստ Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանի, համապատասխանաբար կունենանք՝

$$\quad , \quad \text{և} \quad : \quad (2.20)$$

գ) Ըստ Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի [87]՝

$$\quad , \quad \text{և} \quad : \quad (2.21)$$

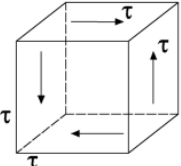
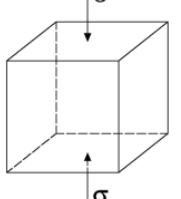
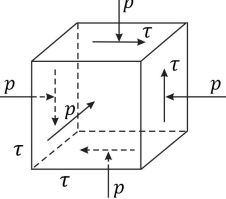
դ) Ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի [87]՝

$$\quad , \quad \sigma \quad \text{և} \quad : \quad (2.22)$$

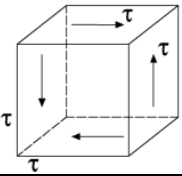
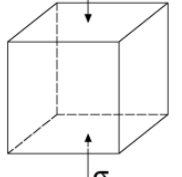
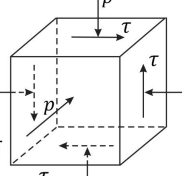
Ստացված բանաձևերի համեմատության համար կազմվել են աղ. 2.2 և 2.3 - ը: Աղ. 2.2 - ում բերված են Տրեսկա-Սեն-Վենանի և Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանների հիման վրա երեք լարվածային վիճակների դեպքում ստացված բանաձևերը, իսկ աղ. 2.3 - ում բերված են Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների հիման վրա նույն լարվածային վիճակների դեպքում

ստացված բանաձևերը, ինչպես նաև առանձնահատուկ ուշադրության արժանի փոշենյութերի մեխանիկական հատկությունների հետևյալ և սահմանային արժեքի դեպքում նույն լարվածային վիճակների պլաստիկության պայմանները: Նշենք, որ և դեպքը համապատասխանում է իդեալական կապակցված նյութին:

Ըստ Տրեսկա-Սեն-Վենանի և Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանների երեք շարվածային վիճակների համար ստացված բանաձևերը

Լարվածային վիճակ	Ըստ Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանի	Ըստ Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանի
	$2\tau = \sigma_h$	$\sqrt{3}\tau = \sigma_h$
	$\sigma = \sigma_h$	$\sigma = \sigma_h$
	$2\tau = \sigma_h$	$\sqrt{3}\tau = \sigma_h$

Ըստ Մոր-Կուլոնի և Գրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների երեք լարվածային վիճակների համար ստացված բանաձևերը

Լարվածային վիճակ	Ըստ Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի		Ըստ Գրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի	
	Ընդհանուր դեպք	և դեպք	Ընդհանուր դեպք	և դեպք
	$\tau = k \cos \rho$	$\tau = k$	$\tau = k$	$\tau = k$
	$\sigma = \frac{2k \cos \rho}{1 + \sin \rho}$	$\sigma = 2k$	$\sigma = \frac{3k \cos \rho}{\sqrt{3} \cos \rho + \sin \rho}$	$\sigma = \sqrt{3}k$
	$\tau = k \cos \rho - p \sin \rho$	$\tau = k$	$\tau = k - p \tan \rho$	$\tau = k$

Աղ. 2.2 և 2.3 - ից երևում է, որ իդեալական կապակցված նյութի համար Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը մաքուր սահքի, միառանցք սեղմման և մաքուր սահքի ու հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցություն դեպքում համապատասխանաբար կլինի՝

$$\sigma = \sigma_0 + \mu \sigma_1,$$

իսկ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանը՝

$$\sigma = \sigma_0 + \mu \sigma_1 + \mu^2 \sigma_2:$$

Հոծ նյութի համար նույն լարվածային վիճակների դեպքում Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանը կլինի՝

$$\sigma = \sigma_0 + \mu \sigma_1 + \mu^2 \sigma_2,$$

իսկ Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանը՝

$$\sigma = \sigma_0 + \mu \sigma_1 + \mu^2 \sigma_2 + \mu^3 \sigma_3:$$

Ստացված բանաձևերի համեմատումից երևում է, որ - ն Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանում փոխարինում է - ին, իսկ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանում՝ - ին: Այսինքն՝ եթե Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանում - ի փոխարեն տեղադրենք , ապա կստանանք Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանը, իսկ եթե Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանում - ի փոխարեն տեղադրենք ` կստանանք Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանը [43].:

Այսպիսով, կարող ենք ասել, որ իդեալական կապակցված նյութի համար Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը ներկայացնում է Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանը, իսկ Դրուկեր-Պրագերիինը՝ Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանը: Այսինքն՝ իդեալական կապակցված նյութի համար ստանում ենք անցումային բանաձևեր՝ Մոր-Կուլոնից Տրեսկա-Սեն-Վենանի և Դրուկեր-Պրագերից՝ Հուբեր-Միզեսիինը:

### Եզրահանգում

1. Օգտագործելով թեք հարթակների շոշափող և նորմալ լարումների

բաղադրիչներով կազմված առանցքների համակարգում Մորի շրջանագիծը և դրան շոշափող Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի ուղիղ գիծը պատկերող գրաֆիկը կապ է հաստատվում թեք հարթակների լարումների որոշման և փոշենյութի մասնիկների ներքին շփման անկյունների միջև, ինչը հնարավորություն է տվել պարզ տեսական ձևափոխություններով հիմնավորել գլխավոր լարումներով արտահայտված Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը:

2. Հոծ պլաստիկ նյութերի համար Տրեսկա-Սեն-Վենանի և Հուբեր-Միգեսի, իսկ մետաղական փոշենյութերի համար՝ Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների հիման վրա տարբեր լարվածային վիճակների դեպքերում (միառանցք սեղմում, մաքուր սահք, ինչպես նաև մաքուր սահքի ու հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցություն,) ստացված արդյունքները ցույց են տվել, որ իդեալական կապակցված փոշենյութի համար Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը վերափոխվում է Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանի, իսկ Դրուկեր-Պրագերինը՝ Հուբեր-Միգեսի պլաստիկության պայմանի, այսինքն՝ չեռակալված փոշենյութերի համար Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմաններն ընդհանրացված պլաստիկության պայմաններ են, և դրանցից մասնավոր դեպքում ստացվում են հոծ պլաստիկ նյութերի պլաստիկության պայմանները:



### ԳԼՈՒԽ 3. ԵՌԱՌԱՆՑՔ ՀԱՎԱՍԱՐԱԶՍՓ ՍԵՂՄՎԱԾ ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՓՈՇԵՆՑՈՒԹԻՑ ՄՆԱՄԵԶ ԳՆԴԻ ԼԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿԻ ԵՎ ԴՐԱ ՍԱՀՄԱՆԱՅԻՆ ԴԵՊՔԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

3.1. Դրուկեր-Պրագերի և Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանների օգտագործմամբ չեռակալված փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի միջօրեական և շառավղային լարումների կապի բանաձևի ստացումը

1. Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի դեպքում արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված մետաղական փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի համար (նկ. 3.1) կատարենք լարվածային վիճակի վերլուծություն՝ հաշվի առնելով, որ շոշափող լարումները բացակայում են: Արդյունքում գլխավոր , , լարումները կընդունեն հետևյալ տեսքը.

$$, \quad : \quad (3.1)$$

(1.25) բանաձևով որոշենք - ի արժեքը՝

$$q = \sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_r)^2]} = \sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + (\sigma_r -$$

:

Քանի որ բոլոր լարումները սեղմող են և , ապա

հետևաբար.

:

Ինչ վերաբերում է միջին լարմանը, ապա այն ունի հետևյալ տեսքը՝

:

և - ի արժեքները տեղադրելով Դրուկեր-Պրագերի (1.24)

պլաստիկության պայմանի մեջ և այն աստիճանաբար ձևափոխելով կստանանք՝

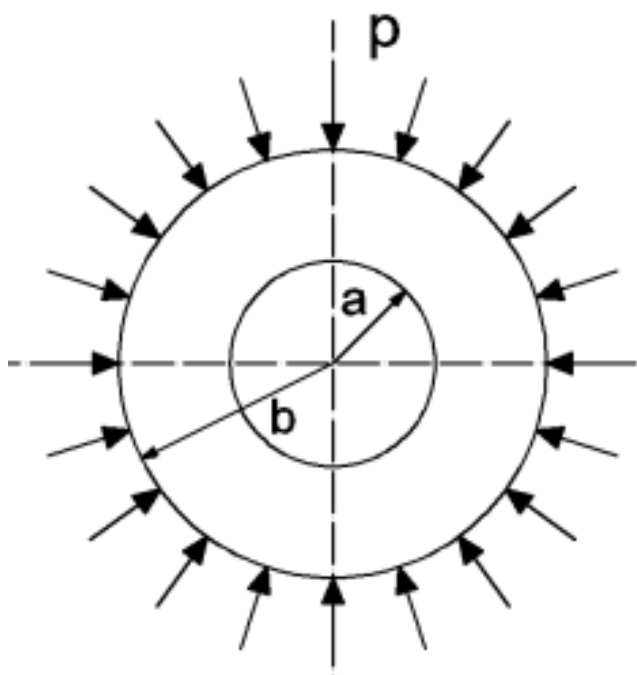
$$\frac{\sqrt{3}}{3} (\sigma_r - \sigma_\theta) \cos \rho,$$

$$\sqrt{3}(\sigma_r - \sigma_\theta) \cos \rho - (\sigma_r + \sigma_\theta) \sin \rho,$$

$$\sqrt{3}\sigma_r \cos \rho - \sqrt{3}\sigma_\theta \cos \rho - \sigma_r \sin \rho - 2\sigma_\theta \sin \rho,$$

$$\sigma_r(\sqrt{3} \cos \rho - \sin \rho) - \sigma_\theta(\sqrt{3} \cos \rho + 2 \sin \rho),$$

(3.2)



Նկ. 3.1. Արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված սնամեջ գնդի սխեման

**2. Մոր-Կուլոնի պլաստիկության (2.5) պայմանի դեպքում** օգտագործելով

(3.1) գլխավոր լարումների արժեքները՝ կունենանք

$$|\sigma_r - \sigma_\theta| = (\dots) \tag{3.3}$$

Քանի որ բոլոր լարումները սեղմող են և  $\sigma_r > \sigma_\theta$ , ապա

հետևաբար (3.3) - ի աստիճանաբար ձևափոխելով կգտնենք - ն՝

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \sigma_r \sin \rho + \sigma_\theta (1 + \sin \rho) =$$

: (3.4)

Նշենք, որ [67] -ում բերված է  $k$  և  $U_{\text{պլա}}$  -ի միջև կապի մոտավոր բանաձևը:

Ստացված (3.2) և (3.4) բանաձևերի համեմատության համար փոշու  $U_{\text{պլա}}$  և գործակիցների տարբեր արժեքների համար կատարվել են հաշվարկներ, որոնց հիման վրա կազմվել է աղ. 3.1 - ը:

*Աղյուսակ 3.1*

*Դրուկեր-Պրագերի (3.2) և Մոր-Կուլոնի (3.4) պլաստիկության պայմանների օգտագործմամբ միջօրեական լարման տվյալները փոշու և գործակիցների [67]*

*տարբեր արժեքների դեպքում*

$\rho$	$20^{\circ}$	$17^{\circ}$	$14^{\circ}$	$12^{\circ}$	$0^{\circ}$	$5^{\circ}$
$k, U_{\text{պլա}}$	65	115	105	80	50	0
ի արժեքները ըստ (3.2) պայմանի, $U_{\text{պլա}}$	$0,52\sigma_r - 79$	$0,60\sigma_r - 147$	$0,67\sigma_r - 141$	$0,70\sigma_r - 111$	$\sigma_r - \sqrt{3} \cdot 50$	$0,52\sigma_r - 79$
ի արժեքները ըստ (3.4) պայմանի, $U_{\text{պլա}}$	$0,50\sigma_r - 91$	$0,55\sigma_r - 170$	$0,61\sigma_r - 164$	$0,65\sigma_r - 129$	$\sigma_r - 100$	$0,50\sigma_r - 91$

Աղ. 3.1 - ի տվյալները հնարավորություն կտան  $k$  և  $U_{\text{պլա}}$  պարամետրերի նշված արժեքների դեպքում՝ օգտագործելով նաև գնդի հավասարակշռության հավասարումը, որոշել լարվածային վիճակի  $\sigma_r$  և բաղադրիչները և լուծել տեխնոլոգիական խնդիրներ: Նշենք, որ այդ տվյալներից առանձնահատուկ ուշադրության է արժանի  $k$  և  $U_{\text{պլա}}$  պարամետրերի դեպքը: Աղ. 3.1 - ից երևում է, որ այդ դեպքում արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի համար Մոր-Կուլոնի պլաստիկության

պայմանն է կամ որը նաև իդալական կապակցված նյութի համար Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանն է: Ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի՝ կամ , որը Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանի ձևափոխած տեսքն է:

Այսպիսով, չեռակալված մետաղական փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի արտաքին ճնշմամբ բեռնավորման դեպքում Դրուկեր-Պրագերի և Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանների օգտագործմամբ ստացվել են միջօրեական լարման բանաձևեր՝ արտահայտված շառավղային լարումներով և փոշու հատկությունները բնորոշող և գործակիցներով: Կատարվել են թվային հաշվարկներ  $\rho$  - ի և  $k$  - ի տարբեր արժեքների համար:

### 3.2. Չեռակալված փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի լարվածային վիճակի հետազոտումը Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների օգտագործմամբ

Դրա համար անհրաժեշտ է ունենալ, ինչպես դրա հավասարակշռության հավասարումները և տվյալ լարվածային վիճակը բնորոշող պլաստիկության բանաձևերը, այնպես էլ խնդրի լուծման եզրային պայմանը:

Չեռակալված մետաղական փոշենյութից սնամեջ գնդի խտացման գործընթացի լարվածային վիճակի հետազոտման համար օգտվենք գնդային կոորդինատների համակարգում ստացված հետևյալ հավասարումների համակարգից [44]՝

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi r}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial \tau_{\theta r}}{\partial \theta} + \frac{1}{r} [2\sigma_r - (\sigma_\theta + \sigma_\varphi)] + \\ \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial \tau_{\theta\varphi}}{\partial \theta} + \frac{1}{r} [3\tau_{r\varphi} + (\sigma_\varphi) \\ \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi\theta}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} = 0, \end{aligned} \quad (3.5)$$

որտեղ  $\sigma_r$  - ը ընթացիկ կետի կոորդինատն է,  $\sigma_\theta$  և  $\sigma_\varphi$  - ն նորմալ լարումների համապատասխանաբար շառավղային, միջօրեական և շրջանային բաղադրիչներն

են, իսկ , և - ն շոշափող լարումների բաղադրիչներն են: Գնդային սիմետրիայի պատճառով նորմալ լարումների միջօրեական և շրջանային բաղադրիչները գնդային կոորդինատների համակարգում իրար հավասար են՝ , իսկ շոշափող լարումների բաղադրիչները հավասար են զրոյի՝

: Այդ դեպքում գնդային կոորդինատային համակարգում արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված մետաղական փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի հավասարակշռության հավասարումը կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$: \quad (3.6)$$

Տեղադրելով (3.2) - ը (3.6) - ում - ի նկատմամբ կստանանք դիֆերենցիալ հավասարում, սակայն նախքան տեղադրելը որոշենք արտահայտությունը՝

$$\begin{aligned} \sigma_r - \sigma_\theta &= \sigma_r - \frac{\sigma_r(\sqrt{3} \cos \rho - \sin \rho) - 3k \cos \rho}{\sqrt{3} \cos \rho + 2 \sin \rho} = \\ &= \frac{\sigma_r(\sqrt{3} \cos \rho + 2 \sin \rho) - \sigma_r(\sqrt{3} \cos \rho - \sin \rho) + 3k \cos \rho}{\sqrt{3} \cos \rho + 2 \sin \rho} = \\ &= \frac{\sigma_r \sqrt{3} \cos \rho + 2\sigma_r \sin \rho - \sigma_r \sqrt{3} \cos \rho + \sigma_r \sin \rho + 3k \cos \rho}{\sqrt{3} \cos \rho + 2 \sin \rho} = \\ &= \frac{3 \sigma_r}{\sqrt{3}}. \end{aligned}$$

- ի ստացված արտահայտությունը տեղադրելով (3.6) - ում կունենանք՝

$$, \quad , \quad :$$

$$(3.7)$$

Նշանակենք , այդ դեպքում (3.7) դիֆերենցիալ հավասարումը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

այն աստիճանաբար ձևափոխելով՝ բերենք հետևյալ տեսքի՝

$$: \quad (3.8)$$

Ինտեգրելով (3.8) դիֆերենցիալ հավասարումը՝ կստանանք.

$$l, \\ l r: \quad (3.9)$$

Ինտեգրման հաստատունի որոշման համար օգտվենք հետևյալ եզրային պայմանից, երբ , : Արդյունքում կստանանք՝

$$\ln(, \\ A l r: \quad (3.10)$$

- ի (3.10) արտահայտությունը տեղադրելով (3.9) - ում և ձևափոխելով՝ կունենանք.

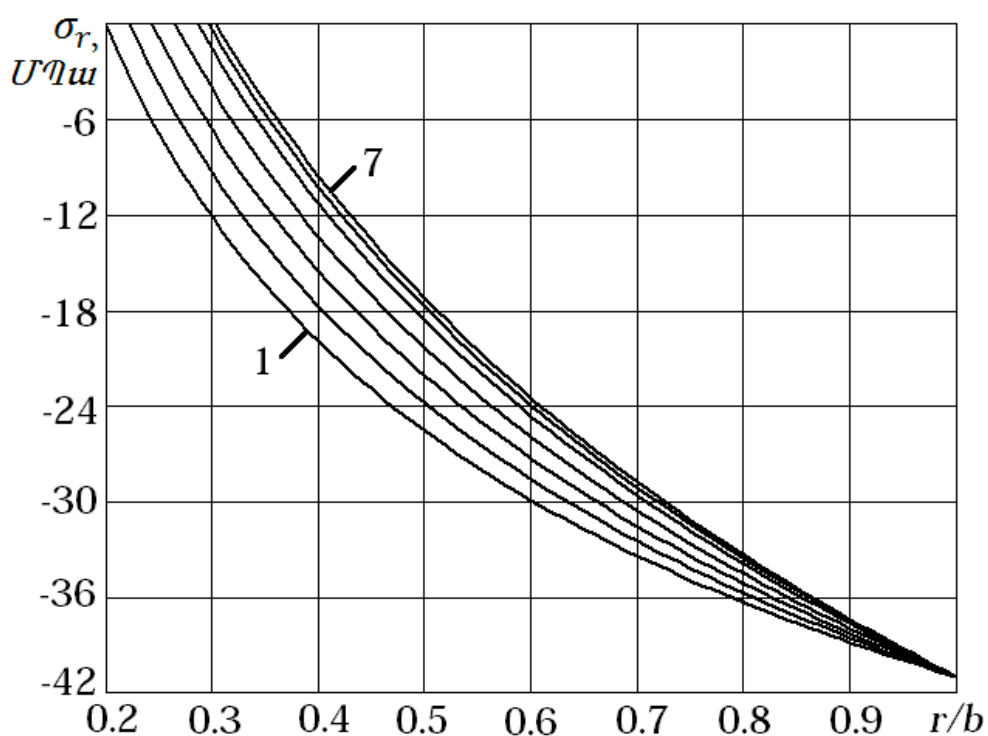
$$\ln(\sigma_r + kctg\rho) = A \ln r + \ln(, \\ \ln(\sigma_r + kctg\rho) - \ln(-p + kct,$$

$$\sigma_r , \\ \sigma_r : \quad (3.11)$$

Չեռակալված մետաղական փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի համար շառավղային և միջօրեական լարումների դեպքում ստացված բանաձևերով կատարենք թվային հաշվարկներ փոշենյութի հատիկների միջև



0,9	-38,83	-38,52	-38,23	-37,95	-37,68	-37,10	-37,40
0,8	-36,37	-35,78	-35,17	-34,55	-33,98	-33,56	-33,37
0,7	-33,48	-32,51	-31,58	-30,61	-29,66	-29,12	-28,80
0,6	-29,93	-28,66	-27,31	-25,98	-24,69	-23,98	-23,52
0,5	-25,51	-23,85	-22,16	-20,45	-18,62	-17,89	-17,26
0,4	-19,92	-17,74	-15,55	-13,41	-11,34	-10,41	-9,58
0,3	-12,18	-9,41	-6,71	-4,19	-1,65	-0,41	-0,33
0,2	-0,12	—	—	—	—	—	—



Նկ. 3.2. -ի գրաֆիկները -ի տարբեր արժեքների դեպքում  
(առաջին կորը), , , , , և (յոթերորդ կորը)

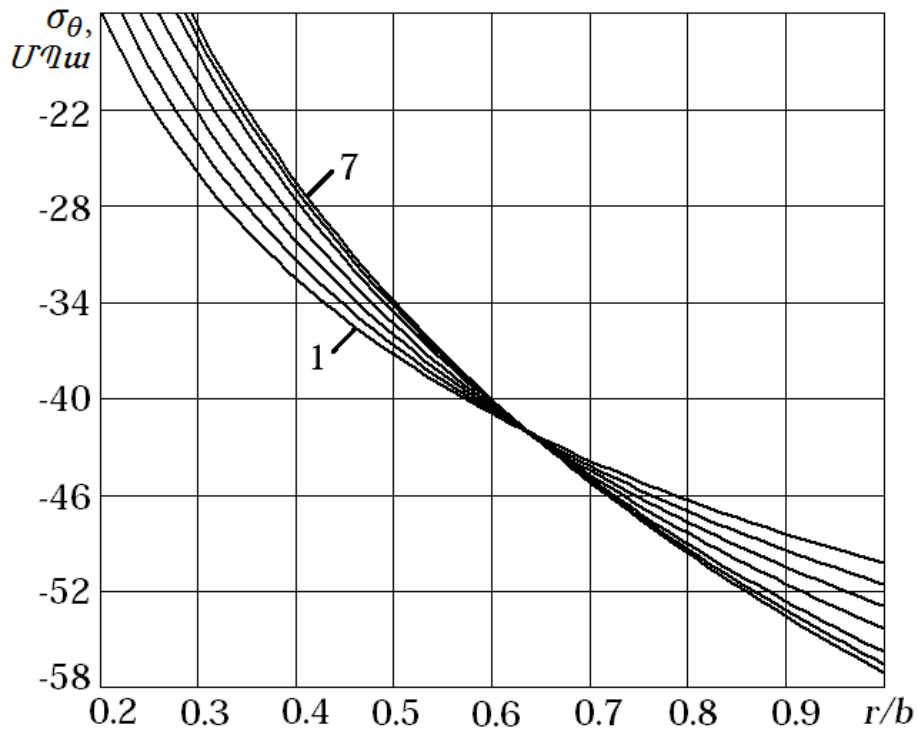
միջօրեական լարման թվային հաշվարկների համար օգտվենք (3.2) բանաձևից: Աղ. 3.4 - ում բերված են -ի տվյալները ներքին շփման անկյան տարբեր արժեքների դեպքում, իսկ նկ. 3.2 - ում ցույց են տրված դրա գրաֆիկները՝ կախված հարաբերությունից:

Աղյուսակ 3.4



[ $U\eta\omega$ ] - ի տվյալները՝ կախված հարաբերությունից

$r/b$	$\rho$						
	$5^\circ$	$4^\circ$	$3^\circ$	$2^\circ$	$1^\circ$	$30'$	$10'$
1	-51,08	-52,43	-53,82	-55,26	-56,73	-57,53	-58,06
0,9	-49,22	-50,26	-51,33	-52,41	-53,53	-54,09	-54,48
0,8	-47,08	-47,78	-48,48	-49,19	-49,89	-50,24	-50,47
0,7	-44,56	-44,89	-45,19	-45,47	-45,73	-45,85	-45,93
0,6	-41,54	-41,44	-41,30	-41,12	-40,89	-40,76	-40,67
0,5	-37,80	-37,2	-36,56	-35,86	-35,11	-34,72	-34,44
0,4	-32,95	-31,78	-30,55	-29,28	-27,95	-27,27	-26,80
0,3	-26,25	-24,37	-22,46	-20,53	-18,58	-17,6	-16,93
0,2	-15,85	—	—	—	—	—	—



Նկ. 3.3. - ի գրաֆիկները - ի տարբեր արժեքների դեպքում (առաջին կորը), , , , և (յոթերորդ կորը)

Աղ. 3.2 և 3.4 – ում, ինչպես նաև նկ. 3.2 և 3.3 - ում բերված տվյալները ցույց են տալիս, որ՝

1. - ի բացարձակ արժեքները դեպի սնամեջ գնդի կենտրոն աստիճանաբար փոքրանալով՝ մոտենում են գրոյի, ինչը համապատասխանում սնամեջ գնդի ներսում - ի եզրային պայմանին,
2. - ի և - ի արժեքները - ի դեպքում բավարարում են հոծ նյութերից սնամեջ գնդի համար գրված Հուբեր-Միգելի հետևյալ պլաստիկության պայմանին՝ :

### 3.3. Արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված փոշենյութից սնամեջ գնդի սահմանային վիճակի հետազոտումը

Մեքենամասերի սահմանային վիճակների հետազոտման գործընթացները գործնական մեծ նշանակություն ունեն։ Դրանց արդյունքների հիման վրա որոշվում են կառուցվածքների սահմանային բեռնվածքները և բացահայտվում՝ դրանց բեռնավորման լրացուցիչ պաշարները։ Այդ ուսումնասիրությունները շատ կարևոր են նաև տարբեր տեխնոլոգիական գործողությունների դեֆորմացման ուժերի որոշման դեպքերում։

Արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի սահմանային վիճակի հետազոտման համար օտագործենք Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի հիման վրա ստացված (3.11) հավասարումը, այն ձևափոխենք, հաշվի առնելով երկրորդ եզրային պայմանը՝ , կստանանք.

$$: \quad (3.12)$$

Արդյունքում՝ գնդի սահմանային վիճակին համապատասխան ճնշման համար կունենանք՝

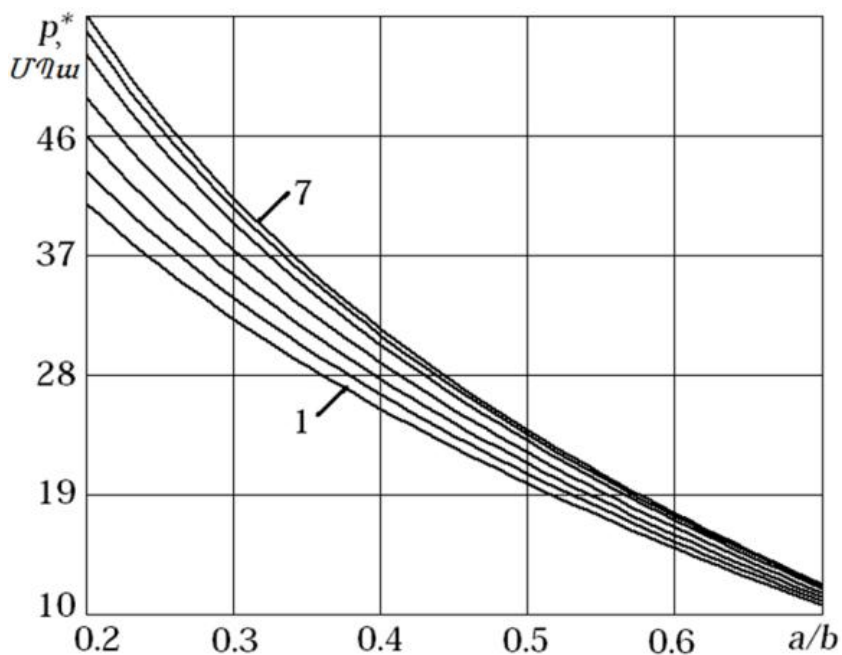
$$: \quad (3.13)$$

Աղ. 3.5 - ում բերված են սահմանային ճնշման տվյալները, երբ  $u$  - ի միջակայքի արժեքների դեպքում, իսկ նկ. 3.4 - ում ցույց են տրված դրա գրաֆիկները՝ կախված հարաբերությունից:

Աղյուսակ 3.5

*[UՊա] - ի տվյալները՝ կախված հարաբերությունից - ի տարբեր արժեքների դեպքում*

$a/b$	$\rho$						
	$5^\circ$	$4^\circ$	$3^\circ$	$2^\circ$	$1^\circ$	$30'$	$10'$
0,7	10,68	10,98	11,30	11,63	11,98	12,16	12,29
0,6	14,99	15,47	15,97	16,51	17,08	17,38	17,59
0,5	19,85	20,57	21,35	22,17	23,06	23,52	23,85
0,4	25,48	26,55	27,70	28,94	30,28	30,99	31,50
0,3	32,24	33,82	35,53	37,41	39,45	40,55	41,33
0,2	40,90	43,30	45,95	48,87	52,12	53,88	55,14



Նկ. 3.4. սահմանային ճնշման գրաֆիկը՝ կախված հարաբերությունից երբ  $u$  - ի միջակայքի արժեքների համար. (առաջին կորը), , , , և (յոթերորդ կորը)

Նկ. 3.4 - ից երևում է, որ հաստապատ սնամեջ գնդի ներքին տրամագծի փոքրացումը (պատի հաստության մեծացումը) հանգեցնում է սահմանային ճնշման արագ մեծացման: - ի փոքրացմամբ ( դեպքում կունենանք հոծ նյութ) սահմանային ճնշման արժեքը մեծանում է: Ընդ որում, - ը 32% - ով մեծ է - ից:

Այսպիսով, փոշենյութից սնամեջ չեռակալված գնդի հավասարաչափ մամլման դեպքում սահմանային վիճակի հետազոտման համար գոյություն ունեցող պլաստիկության տեսությունների վերլուծմամբ ընտրվել է չեռակալված փոշենյութերի Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանը: Օգտագործվել են նաև գնդի տարրի դիֆերենցիալ հավասարումը և եզրային պայմանները: Խնդրի լուծման արդյունքում արտածվել են վերլուծական բանաձևեր: Կատարվել են թվային հաշվարկներ, կառուցվել է գրաֆիկը, և վերլուծվել են արդյունքները:

### Եզրահանգում

Վերլուծական եղանակով հետազոտվել է արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված մետաղական փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի լարվածային վիճակը և դրա սահմանային դեպքը:

Ստացված շառավղային ու միջօրեական լարումների, ինչպես նաև սահմանային դեպքին համապատասխան ճնշման համար «Mathcad» ծրագրային միջավայրում թվային հաշվարկները կատարվել են փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյան տարբեր արժեքների համար և ցույց է տրվել - ի առանձնահատուկ դերը չեռակալված մետաղական փոշենյութի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացում: Դրա փոքրացման դեպքում լարվածային վիճակի բաղադրիչները, ինչպես նաև հաստապատ սնամեջ գնդի սահմանային ճնշման արժեքները մեծանում են: Մասնավոր դեպքում, երբ , ստացվում են հոծ նյութից սնամեջ գնդի խնդրի տվյալները: Ընդ որում, փոքր ներքին շառավղով հաստապատ չեռակալված սնամեջ գնդի դեպքում փոշու հատիկների

միջև ներքին շփման անկյան  
ճնշումը՝ - ը 32% - ով մեծ է  
- ից:

- ին համապատասխան սահմանային  
ներքին շփման անկյուն ունեցող սնամեջ գնդի

## ԳԼՈՒԽ 4. ԿՈՇՏ ԳԼԱՆԱԿԱՆ ՄԱՍԼԱՄԱՅՐՈՒՄ ՉԵՌԱԿԱԼ ՎԱԾ ՓՈՇԵՆՍՈՒՇԻ ՄԱՍԼՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ

### 4.1. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակի հետազոտումը ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի

Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշների մամլման գործընթացների հետազոտությունները քիչ են, մանավանդ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի օգտագործմամբ: Հետևաբար, կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակի հետազոտումը Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի հիման վրա արդիական է: Այդ նպատակով օգտագործենք փոշենմուշից (նկ. 4.1) անջատված բարձրությամբ տարրի հավասարակշռության հավասարումը, Դրուկեր-Պրագերի (1.24) պլաստիկության և եզրային պայմանները:

Երկու զուգահեռ հարթություններով գլանից անջատված տարրի հավասարակշռության հավասարումը կունենա հետևյալ տեսքը [13]՝

$$-(p_z + dp_z) \frac{\pi d^2}{4}, \quad (4.1)$$

որտեղ  $p_z$  - ն նմուշի տրամագիծն է,  $dp_z$  - ը՝ մամլամայրի և նմուշի միջև շփման գործակիցը,  $d$  - ը՝ առանցքի, իսկ  $dp_r$  - ը՝ շառավղի ուղղություններով ճնշումները:

Շոշափող լարումների փոքրության պատճառով գլխավոր լարումները կունենան հետևյալ տեսքը.

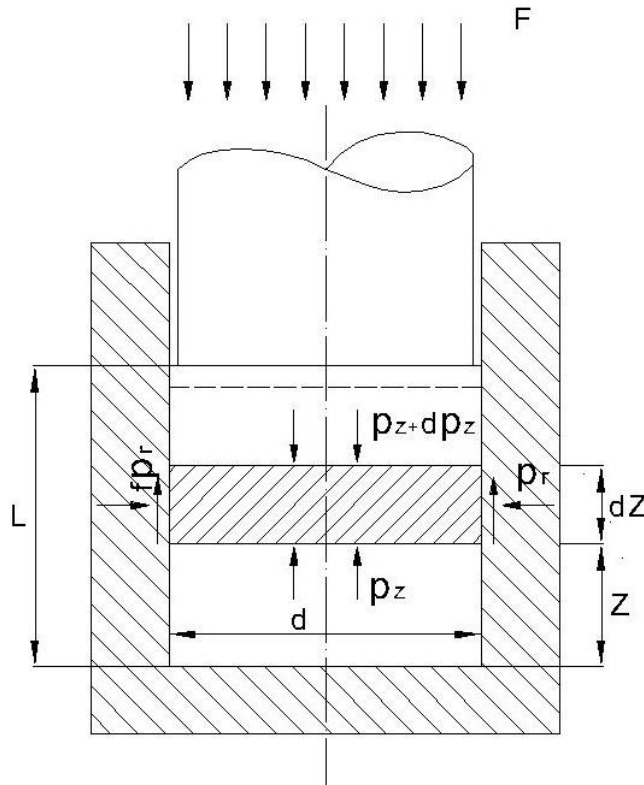
$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_\theta = \sigma_r = -p_r \quad \sigma_3 = \sigma_z = -p_z \quad :$$

Որոշենք և  $\epsilon$  - ի արժեքները վերը նշված լարվածային վիճակի համար.

$$q = \sqrt{\frac{1}{6}[(-p_r + p_z)^2 + \dots]}$$

Քանի որ , հետևաբար՝

$$q = \frac{p_z - p_r}{\sqrt{3}}$$



Նկ. 4.1. Լարվածային վիճակի սխեման մամլանայրի պատի և նմուշի միջև շփման առկայության դեպքում

և - ի արժեքները տեղադրելով Դրուկեր-Պրագերի (1.24)

պլաստիկության պայմանում, կունենանք՝

$$\frac{1}{\sqrt{3}}(p_z - p_r) \cos \rho,$$

$$\sqrt{3}(p_z - p_r) \cos \rho + (2p_r,$$

$$\sqrt{3}p_z \cos \rho - \sqrt{3}p_r \cos \rho + 2p_r \sin \rho + p_z,$$

$$p_z(\sqrt{3} \cos \rho + \sin \rho) + p_r(2 \sin \rho - \sqrt{3} \cos \rho),$$

որից կորոշենք - ը՝

$$p_r(2 \sin \rho - \sqrt{3} \cos \rho) = 3k \cos \rho - p_z(, \tag{4.2}$$

(4.2) - ը տեղադրելով (4.1) - ում, կստանանք.

$$d \cdot dp_z = 4f(, \tag{4.3}$$

Նպատակահարմար է (4.3) - ը բերել հետևյալ տեսքի.

$$dp_z = \left[ \frac{12fk \cos \rho}{2 \sin \rho - \sqrt{3} \cos \rho} \right]; \tag{4.4}$$

(4.4) - ը արտահայտենք չափագուրկ պարամետրերով՝ կատարելով հետևյալ նշանակումները.

$$, \tag{4.5}$$

$$: \tag{4.6}$$

Արդյունքում կունենանք՝

$$: \tag{4.7}$$

Ձևափոխելով (4.7) - ը և ինտեգրելով, կստանանք՝

$$, \tag{4.8}$$

Ինտեգրման հաստատունի որոշման համար ընտրենք և օգտվենք հետևյալ եզրային պայմանից՝

$$\text{երբ} \tag{4.9}$$

Կստանանք՝

$$, \tag{4.10}$$



Ինտեգրման հաստատունի (4.10) արտահայտությունը տեղադրելով (4.8) -ում և այն ձևափոխելով՝ կստացվի.

$$\ln(a + b\bar{p}_z) =$$

$$,$$

$$,$$

$$:$$
(4.11)

(4.2) - ի աջ և ձախ կողմերը բաժանելով - ի, այնուհետև - ի փոխարեն տեղադրելով դրա համար ստացված (4.11) բանաձևը, - ի համար կունենանք.

$$\bar{p}_r,$$

$$\bar{p}_r = \frac{3 \cos \rho - \frac{(a+}{$$

$$\bar{p}_r = \frac{a+b \frac{(a+b\bar{p}_0)}{4j}}{4j};$$
(4.12)

Որոշակի ձևափոխություններից հետո (4.12) - ը բերենք գործնական կիրառության համար ավելի հարմար տեսքի՝

$$:$$
(4.13)

Թվային հաշվարկների կատարման համար անհրաժեշտ է ճիշտ ընտրել նյութի մեխանիկական հատկությունները բնորոշող և մեծությունները, ինչպես նաև նմուշի և գլանական մամլամայրի միջև շփման գործակիցը: Դա արվում է, որպեսզի խնդրի լուծման ժամանակ կողմնային ճնշումը մեծ լինի գրոյից՝ :

Հաշվի առնելով (4.2) - ը, կստանանք.

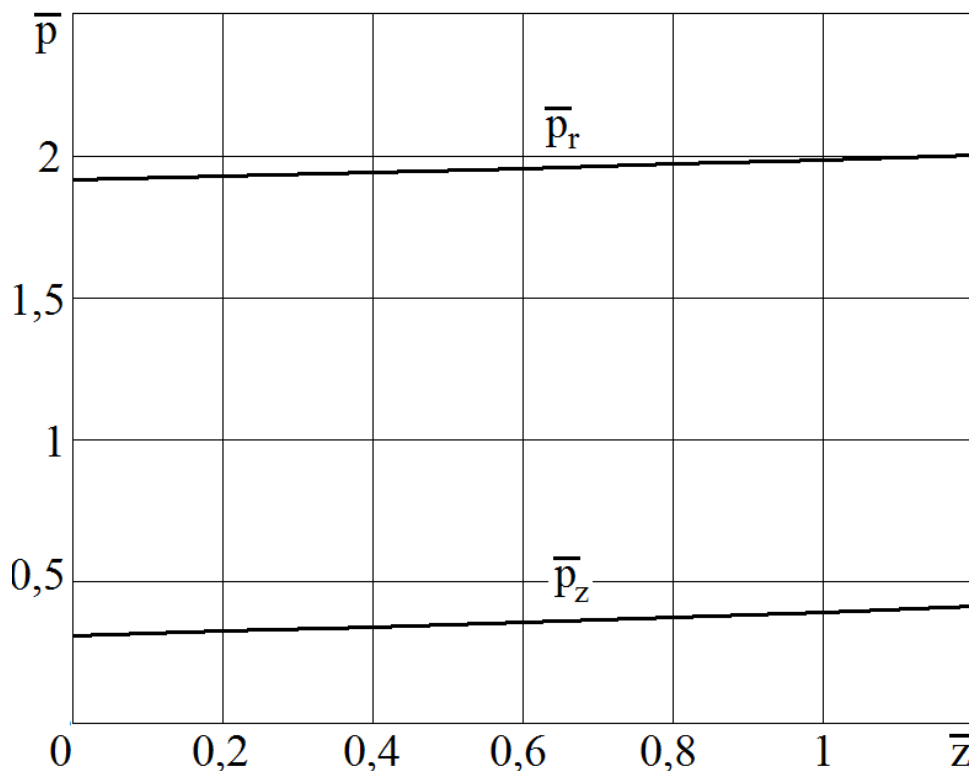
$$, \text{ կամ } ,$$

որտեղից

$$:$$
(4.14)

Ընտրելով  $\bar{p}$ ,  $\bar{p}_r$  - ի համար կատանանք՝  $\bar{p}$  : Խնդրի թվային հաշվարկները կատարենք  $\bar{p}$ ,  $\bar{p}_r$  և  $\bar{p}_z$  դեպքի համար և ստացված տվյալներով կառուցենք  $\bar{p}$  - ի ու  $\bar{p}_z$  - ի գրաֆիկները՝ կախված  $\bar{z}$  - ից (նկ. 4.2):

Այսպիսով, հետազոտվել է կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակը, ստացվել են առանցքային ու կողմնային ճնշումների որոշման բանաձևերը և կառուցվել են դրանց գրաֆիկները: Ստացված գրաֆիկներից երևում է, որ կողմնային և առանցքային ճնշումները, փոշենմուշի բարձրության համեմատ, աստիճանաբար նվազում են: Ընդ որում, կողմնային ճնշման արժեքները կազմում են առանցքայինի 16-20%, որը գտնվում է փորձարարական տվյալների միջակայքում [5]:



Նկ. 4.2.  $\bar{p}$  - ի և  $\bar{p}_z$  - ի գրաֆիկները՝ կախված  $\bar{z}$  - ից

**4.2. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակի հետազոտումը ըստ Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի**

Այս ենթաբաժնում խնդիրը լուծվել է նախորդի նման, սակայն օգտագործելով Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը, ինչը նշանակում է՝ այս դեպքում հաշվի առնելով Մոր-Կուլոնի պլաստիկության (2.5) և եզրային (4.9) պայմանները լուծել տարրի հավասարակշռության (4.1) հավասարումը:

Քանի որ կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակի հետազոտման այս դեպքում փոխվում է միայն պլաստիկության պայմանը, ուստի խնդրի լուծման ընթացքում որոշ բանաձևեր կմնան նույնը, և դրանք կարելի է չկրկնել: Սակայն խնդրի լուծումը լավ հասկանալու համար անհրաժեշտ ենք գտել կրկնել այդ բանաձևերը:

Գլխավոր լարումների հետևյալ արժեքները.

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_\theta = \sigma_r = -p_r, \quad \sigma_3 = \sigma_z = -p_z$$

տեղադրենք Մոր-Կուլոնի (2.5) պլաստիկության պայմանում կստանանք՝

$$|-p_z + p_r| = (-p_z - p_r + 2kctg\rho) \sin\rho:$$

Քանի որ , հետևաբար՝

$$p_z - p_r = -p_z \sin\rho - ,$$

որից կորոշենք - ը՝

$$p_r(1 - \sin\rho) = p_z(1 ,$$

$$: \quad (4.15)$$

(4.15) - ը տեղադրելով (4.1) - ում, կստանանք.

$$d \cdot dp_z = 4f: \quad (4.16)$$

Նպատակահարմար է (4.16) - ը բերել հետևյալ տեսքի.

$$dp_z: \quad (4.17)$$

(4.17) - ը արտահայտենք չափագուրկ պարամետրերով՝ կատարելով հետևյալ նշանակումները.

$$, \quad , \quad , \quad , \quad (4.18)$$

$$, \quad : \quad (4.19)$$

Արդյունքում կունենանք՝

$$: \quad (4.20)$$

Ձևափոխելով (4.20) - ը և ինտեգրելով՝ կստանանք.

$$, \\ , \\ : \quad (4.21)$$

Ինտեգրման հաստատունի որոշման համար ընտրենք և օգտվենք հետևյալ եզրային պայմանից, երբ Կստանանք՝

$$, \\ : \quad (4.22)$$

Ինտեգրման հաստատունի (4.22) արտահայտությունը տեղադրելով (4.21) - ում և այն ձևափոխելով՝ կունենանք.

$$\ln(a + b\bar{p}_z) =, \\ , \\ , \\ : \quad (4.23)$$

(4.15) - ի աջ և ձախ կողմերը բաժանելով - ի, այնուհետև - ի փոխարեն տեղադրելով դրա համար ստացված (4.23) բանաձևը, - ի համար կունենանք.

,

$$\bar{p}_r = ,$$

$$\bar{p}_r = \frac{((a+b\bar{p}_0)e^{b(z-1,2)}-a)(1+\sin \rho)-2b \cos}{(1-\sin \rho)b} \quad (4.24)$$

Որոշակի ձևափոխություններից հետո (4.24) - ը բերենք գործնական կիրառության համար ավելի հարմար տեսքի՝

$$: \quad (4.25)$$

Թվային հաշվարկների կատարման համար անհրաժեշտ է ճիշտ ընտրել նյութի մեխանիկական հատկությունները բնորոշող և մեծությունները, ինչպես նաև նմուշի և գլանական մամլամայրի միջև շփման գործակիցը: Դա արվում է այն նպատակով, որ խնդրի լուծման ժամանակ կողմնային ճնշումը մեծ լինի զրոյից՝ :

Հաշվի առնելով (4.15) - ը, կստանանք.

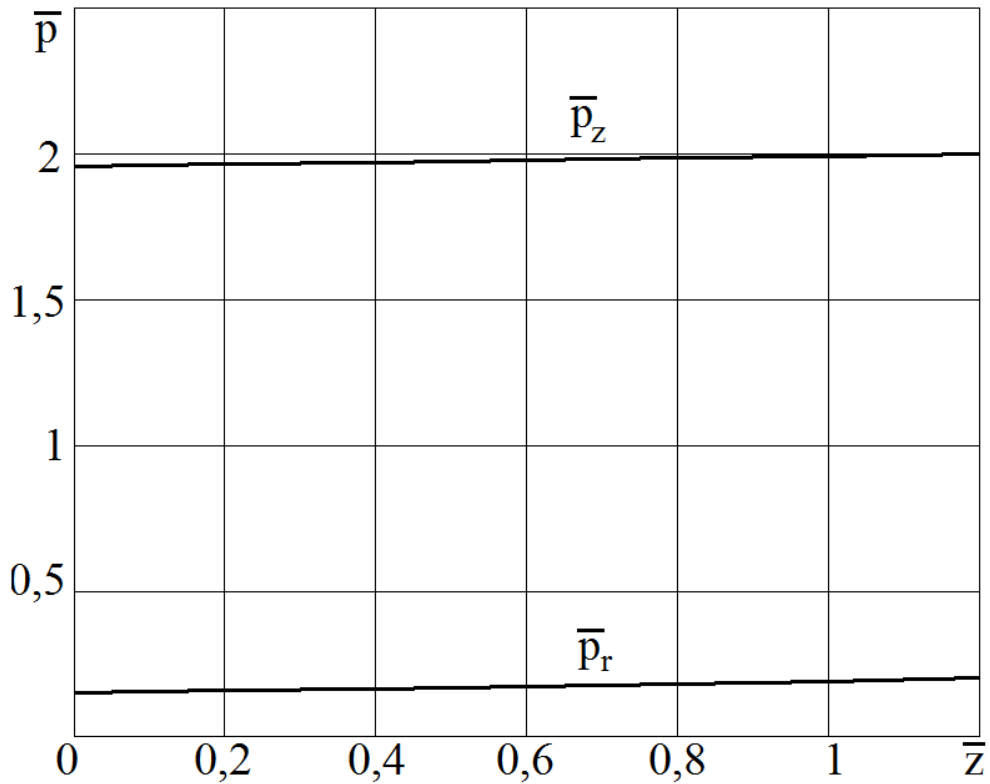
$$, \quad \text{կամ՝} \quad ,$$

որտեղից

$$: \quad (4.26)$$

Ընտրելով - ի համար կստատանք՝ : Խնդրի թվային հաշվարկները կատարենք , և դեպքի համար և ստացված տվյալներով կառուցենք և - ի գրաֆիկները՝ կախված - ից (նկ. 4.3):

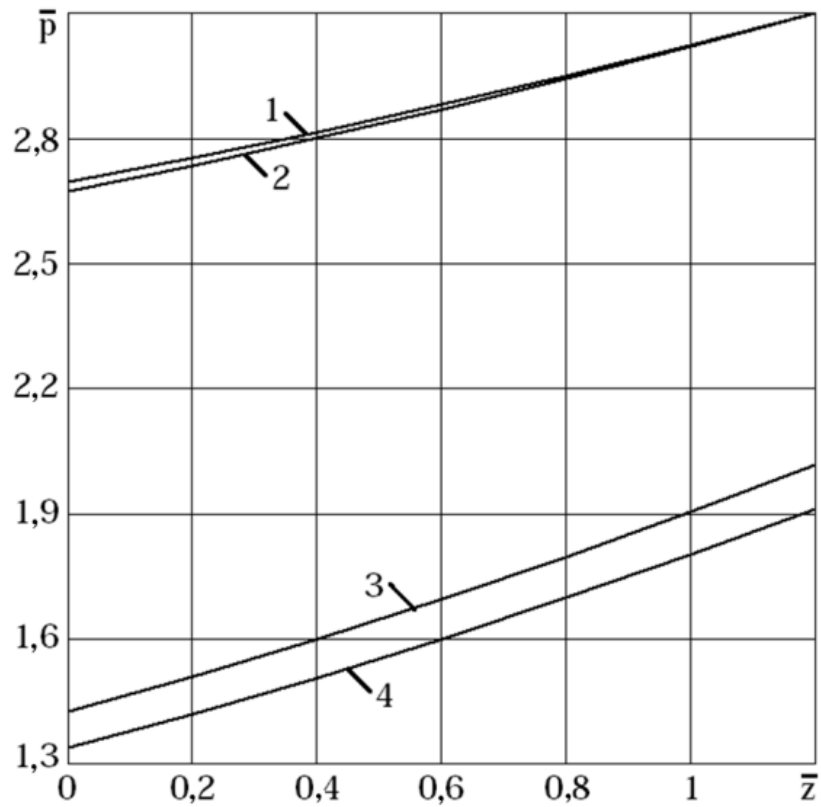
Այսպիսով, հետազոտվել է կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակը, ստացվել են առանցքային ու կողմնային ճնշումների որոշման բանաձևերը և կառուցվել են դրանց գրաֆիկները: Ստացված գրաֆիկներից երևում է, որ կողմնային և առանցքային ճնշումները փոշենմուշի բարձրության համեմատ աստիճանաբար նվազում են: Ընդ որում, կողմնային ճնշման արժեքները կազմում են առանցքայինի 7,6-10%, որը գտնվում է փորձարարական տվյալների միջակայքում [5]:



Նկ. 4.3. - ի և - ի գրաֆիկները՝ կախված - ից

**4.3. Կոշտ գլանաձև մամլամայրում չեռակալված մետաղական փոշենմուշի մամլման դեպքում Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների համեմատությունը**

Կոշտ գլանաձև մամլամայրում չեռակալված մետաղական փոշենմուշի մամլման դեպքում Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների համեմատության համար ընտրվել է , , և կառուցվել են ու - ի գրաֆիկները՝ կախված - ից (նկ.4.4): Նշենք, որ խնդրի թվային հաշվարկները կատարվել են դեպքի համար:



Նկ. 4.4.  $\bar{p}$  և  $\bar{z}$  գրաֆիկները՝ կախված  $\bar{p}$ -ից

Նկ. 4.4 - ում 1 և 4 - ը, ըստ Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի, համապատասխանաբար ու  $\bar{z}$  - ի գրաֆիկներն են, իսկ 2 և 3 - ը՝ ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի, ու  $\bar{z}$  - ի գրաֆիկները:

Ստացված գրաֆիկների հիման վրա կազմվել է աղ. 4.1 - ը, որտեղ բերված է նաև տարբեր պլաստիկության պայմաններով ստացված ու  $\bar{z}$  - ների համեմատությունը՝ տոկոսով:

Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմաններով ստացված  
*ու* - ների թվային արժեքները, *և* դեպքում

$\bar{z}$		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2
Ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի	$\bar{p}_z$ ՄՊա	2,597	2,655	2,716	2,782	2,85	2,923	3
	$\bar{p}_r$ ՄՊա	1,417	1,498	1,583	1,673	1,769	1,869	1,976
Ըստ Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի	$\bar{p}_z$ ՄՊա	2,618	2,673	2,731	2,793	2,858	2,927	3
	$\bar{p}_r$ ՄՊա	1,335	1,413	1,496	1,583	1,376	1,774	1,877
- ների տարբերությունը՝ %		0,8	0,67	0,55	0,39	0,28	0,14	0
- ների տարբերությունը՝ %		5,78	5,67	5,5	5,38	5,26	5,08	5,01



Ըստ աղ. 4.1 - ի տվյալների, մամլամատի տակ նախապատրաստվածքի ու  
 - ի արժեքները ամենամեծն են՝ դրա այլ հատույթների տվյալների համեմատ,  
 այսինքն՝ մամլամատի տակ նյութի խտությունը ավելի մեծ է, ինչը համընկնում է  
 [5] - ի տվյալների հետ:

Անհամասեռ դեֆորմացիայի տեխնոլոգիական խնդրի հետազոտման համար  
 Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմաններով որոշվել են  
 կողմնային ճնշման գործակցի արժեքները տարբեր ներքին շփման  
 անկյան արժեքների դեպքում նմուշի ներքևի մասի համար: Ստացված տվյալները  
 բերված են աղ. 4.2 և 4.3 - ում:

*Աղյուսակ 4.2*

*Ըստ Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների կողմնային  
 ճնշման գործակցի արժեքները տարբեր ներքին շփման անկյան դեպքում*

ρ	1 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	4 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup>	7 <sup>0</sup>	8 <sup>0</sup>
-արժեքները ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի	0,3	0,32	0,342	0,36	0,38	0,4	0,432	0,457
-արժեքները ըստ Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի	0,38	0,4	0,41	0,43	0,447	0,465	0,484	0,5

*Աղյուսակ 4.3*

*Ըստ Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների կողմնային  
 ճնշման գործակցի արժեքները տարբեր ներքին շփման անկյան դեպքում*

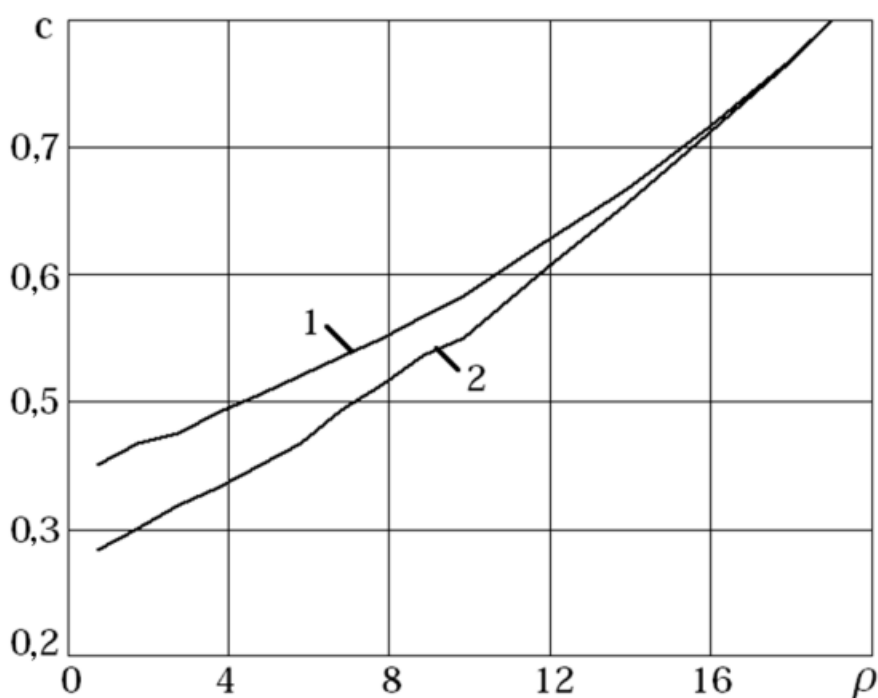
ρ	9 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	12 <sup>0</sup>	14 <sup>0</sup>	16 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup>
-արժեքները ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի	0,483	0,5	0,566	0,627	0,693	0,76	0,8

-արժեքները ըստ Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի	0,52	0,56	0,592	0,64	0,699	0,762	0,8
---	------	------	-------	------	-------	-------	-----

Աղ. 4.2 և 4.3 - ում բերված կողմնային ճնշման գործակցի

տվյալները նույնպես հիմնավորվում են [5] - ի կողմից՝ փոշու և հոծ միջավայրի դեֆորմացման մեխանիզմի և օգտագործվող տեսությունների տարբերությամբ:

Աղ. 4.2 ու 4.3 - ի հիման վրա կառուցվել է ներքին շփման անկյան տարբեր արժեքների դեպքում կողմնային ճնշման գործակցի միջև կապի գրաֆիկը (նկ 4.5):



Նկ. 4.5. ներքին շփման անկյան տարբեր արժեքների դեպքում

կողմնային ճնշման գործակցի միջև կապի գրաֆիկը

Այսպիսով, վերլուծվել են Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների հիման վրա գլանական մամլամայրում փոշենյութի մամլման լարվածային վիճակի հետազոտության տվյալները հպակային շփման հաշվառման դեպքում, որը հնարավորություն է տվել կատարել անհամասեռ դեֆորմացման տեխնոլոգիական խնդիրների արդյունքների համեմատում: Ցույց է տրվել, որ Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների

հիման վրա ստացված առանցքային ճնշումների միջև առավելագույն տարբերությունը կազմում է 0,8%, իսկ կողմնային ճնշումներինը՝ 5,78%:

#### **4.4. Գլանական մամլամայրում փոշենյութի խտացման գործընթացի հաշվարկման որոշ բնութագրերի մասին**

Արդյունաբերությունում բարձրորակ արտադրանք ստանալու համար շատ կարևոր է սովյալ նյութից կատարել փոշու ընտրություն, անհրաժեշտ քանակի և ծավալի հաշվարկ, որոշել մամլման ուժի մեծությունն ու կողային ճնշումը, ինչպես նաև դրանց փոփոխման օրինաչափությունները: Ընդ որում, այդ տեխնոլոգիական պարամետրերի որոշումը կատարվում է փոշենյութերի խտացման գործընթացի ծավալային՝ փոշենյութի հարաբերական խտության ընթացիկ ծակոտկենության ազատ լցովի և ցնցանստելի վիճակների խտությունների և , ինչպես նաև փոշեհատիկների միջև կապի՝ ներքին շփման անկյան և կառչման գործակցի բնութագրերի օգտագործմամբ:

Փոշենյութերի խտացման գործընթացի ծավալային բնութագրերի մասին հետազոտությունների հիմքում դրված են ինչպես Յու.Մ. Բալշինի կողմից կատարված, այնպես էլ նրա կողմից վերլուծված գրականությունում հայտնի բազմաթիվ փորձարարական աշխատանքները [5,4]:

Փոշեհատիկների միջև կապի բնութագրերի վերաբերյալ հետազոտություններից ուշադրության արժանի են Վ.Ե. Պերելմանի կողմից կատարված փորձարարական և տեսական աշխատանքները [67]: Ընդ որում, փորձարարական հետազոտությունների կատարման համար [67] - ում նախագծվել և պատրաստվել է հատուկ հարմարանք, իսկ տեսական հետազոտություններն իրականացվել են Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի հիման վրա:

Այս բաժնում կատարենք փոշենյութի խտացման գործընթացի բնութագրերի օգտագործմամբ տեխնոլոգիական պարամետրերի որոշում:

Փոշենյուրի ընթացիկ դեֆորմացման աստիճանում դրա խտության կամ ծակոտկենության որոշման համար օգտագործենք զանգվածի պահպանման օրենքը [13]՝

$$, \quad (4.27)$$

որտեղ - ն միջին դեֆորմացիայի աճն է:

Հաշվի առնենք նաև փոշենյուրի ընթացիկ ծակոտկենության և հարաբերական խտության միջև կապի հետևյալ բանաձևը [13]՝

$$, \quad (4.28)$$

ինչը հնարավորություն է տալիս (4.27) - ը ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

:

Ինտեգրելով այդ դիֆերենցիալ հավասարումը, կստանանք՝

$$, \quad (4.29)$$

որտեղ - ն ինտեգրման հաստատունն է, իսկ - ն՝ գլխավոր դեֆորմացիաներով արտահայտված և հետևյալ բանաձևով որոշվող միջին դեֆորմացիան՝

$$: \quad (4.30)$$

Հաշվենք փոշենյուրի ընթացիկ ծակոտկենության մեծությունը ազատ լցովի վիճակից ցնցանստելի վիճակի անցնելու դեպքում [4]: Դրա համար օգտագործենք հետևյալ սկզբնական պայմանը.

$$\text{երբ } , \quad (4.31)$$

որտեղ - ն լցովի վիճակի ծակոտկենությունն է և հարաբերական լցովի խտությամբ արտահայտված, որոշվում է (4.28) բանաձևով՝

$$: \quad (4.32)$$

(4.32) - ը տեղադրելով (4.29) - ում՝ ստանում ենք ինտեգրման հաստատունը, այնուհետև՝ փոշենյուրի ընթացիկ ծակոտկենությունը.

$$, \quad \text{և,}$$

: (4.33)

Տալով - ին տարբեր արժեքներ՝ (4.33) - ով կորոշենք ցնցանաստելու տվյալ դեպքի ընթացիկ ծակոտկենությունը, իսկ (4.28) - ով՝ հարաբերական ցնցանաստելի խտությունը:

Նշենք նաև, որ ունենալով ցնցանաստեցման ծակոտկենության վերջնական արժեքը՝ , (4.33) - ով կարելի է որոշել միջին դեֆորմացիայի համապատասխան

մեծությունը և լուծել տեխնոլոգիական խնդիրներ:

Մասնավոր դեպքում էլեկտրոլիտային պողպատի փոշու ծավալային

$$\gamma_{1g} = , \quad \text{և} \quad \text{բնութագրերով [4] և}$$

օգտագործելով վերը նշված բանաձևերը՝ կատարենք հետևյալ հաշվարկները.

### 1) Փոշենյութի ծակոտկենության և միջին դեֆորմացիայի որոշումը

Նախ որոշենք՝

,

և ըստ (4.28) - ի կստանանք՝

,

$$0,442 = 1,$$

ինչը հնարավորություն է տալիս որոշել միջին դեֆորմացիան՝

,

,

,

,

:

### 2) Գլանական մամլամայրի չափերի որոշումը

Եթե ցնցանաստեցումը կատարվում է գլանական մամլամայրում

տրամագծով և այն լցվում է բարձրությամբ, ապա լայնական

դեֆորմացիաների բացակայության ( - ի) դեպքում (4.25) - ից կստանանք

,

, որտեղ - ը առանցքային դեֆորմացիան է: Մյուս

կողմից՝ քանի որ դա մեծ դեֆորմացիա է, ուստի օգտագործելով իրական

(լոգարիթմական) դեֆորմացիաները՝ կստանանք

$$H/H_0 == e^{-0.486} = 1/e^{0.486}$$

$H = 0,615 \cdot H_0 =$  Այսինքն՝ տրված ցնցանաստեցման հարաբերական խտության դեպքում փոշենյութի բարձրությունը կդառնա՝ :

### 3) Տվյալ մամլամայրում լցվող պողպատի փոշու կշիռի որոշումը

Եթե , և , կստանանք

$$G_{ig} = \gamma_{ig} \cdot V_{ig} = 2,7 \cdot H_0 \pi d^2 / 4 = 2,7 \cdot \pi:$$

Իսկ եթե հաշվարկները կատարենք ցնցանաստեցման կշռով՝ և համապատասխան բարձրությամբ՝ , ապա կստանանք

$$G_{ig} = \gamma_{gix} \cdot V_{gix} = 4,34 \cdot H \pi d^2 / 4 = 4,34 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 4,':$$

Այսպիսով, խտացման գործընթացի բնութագրի միջոցով որոշվել են էլեկտրոլիտային փոշու տեխնոլոգիական պարամետրերը:

#### 4.5. Չեռակալված մետաղական փոշենմուշների հատկությունները բնորոշող պարամետրերի որոշման փորձարարական մեթոդները

Չեռակալված մետաղական փոշենմուշների հատկությունները բնորոշող փոշու հատիկների միջև կառչման գործակցի և ներքին շփման անկյան որոշման համար մեր կողմից նախագծվել են հետևյալ երկու տիպի փորձարարական մամլակաղապարներ, որոնցում իրականացվում է նախօրոք երկկողմանի մամլված, որոշակի խտությամբ չեռակալված փոշենմուշների սահքը.

- նախնական առանցքային ճնշման տակ գտնվող քառակուսի հատույթով չեռակալված փոշենմուշի կտրումը լայնական հատույթով,

- նախնական կողմնային ճնշման տակ գտնվող չեռակալված կլոր հատույթով փոշենմուշի կտրումը առանցքային ուղղությամբ:

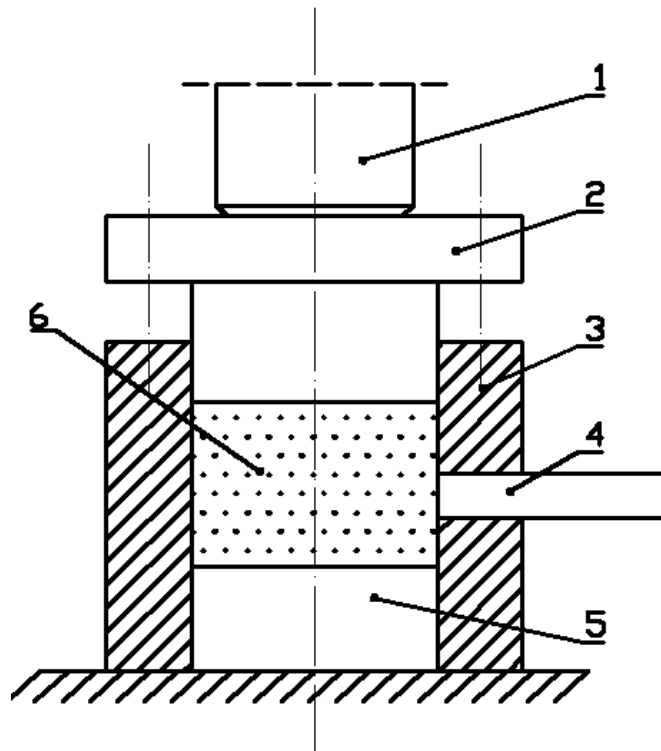
Նախնական առանցքային ճնշման տակ գտնվող չեռակալված քառակուսի հատույթով փոշենմուշի կտրումը լայնական հատույթով փորձարարական մեթոդի նպատակը սեղմող և կտրող ուժերից առաջացած նորմալ և շոշափող լարումների այն համակցության որոնումն է, որը բերում է փորձանմուշի սահմանային վիճակի:

Ընդ որում, բացի սեղմող և կտրող ուժերի գրանցումից, ստուգվում են նաև մամլակաղապարի իրանի նկատմամբ մամլամատի և դանակի տեղաշարժի մեծությունները:

Նկ. 4.6 - ում պատկերված է չեռակալված քառակուսի հատույթով ուղղանկյուն պրիզմայի ձև ունեցող փոշենմուշի փորձարկման մամլակաղապարի սկզբունքային սխեման: Փոշենմուշը սկզբում ենթարկվում է մամլման՝ առաջացնելով առանցքի ուղղությամբ ազդող լարում, այնուհետև հարմարանքը  $90^\circ$  – ով շրջելով այն առանցքին ուղղահայաց կտրվում է (առաջանում է շոշափող լարում), այսինքն՝ 6 փորձանմուշը բավականին տափակ և սուր 4 դանակով ենթարկվում է կտրման՝ գտնվելով 2 մամլամատի կողմից զարգացրած սկզբնական որոշակի սեղմող ուժի ազդեցության տակ:

Դիտարկվող փորձարարական մամլակաղապարի կառուցվածքն ունի հետևյալ առավելությունները գրականությունից հայտնի նմանատիպ մամլակաղապարի նկատմամբ [67]՝

1. Կոնտեյնների աշխատանքային խուցն ունի քառակուսի հատույթ, որն ապահովում է փորձանմուշի կայուն և կիպ տեղադրում:
2. Դանակի կտրող ուղիղ եզրի օգտագործումը կոր եզրի փոխարեն հեշտացնում է գործընթացի հետազոտման դեպքում հաշվարկների կատարումը:
3. Փորձարկման գործընթացը իրականացվում է առանց հիդրավլիկական սարքի օգտագործման:

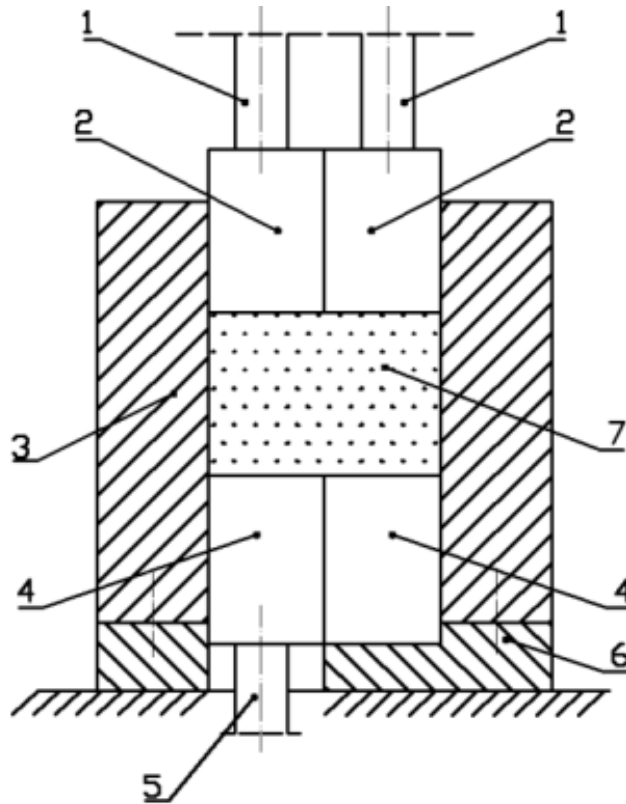


*Նկ. 4.6. Նախնական առանցքային ճնշման տակ գտնվող չեռակալված քառակուսի հատույթով փոշենմուշի լայնական հատույթով կտրման փորձարկման մամլակաղապարի սխեման. 1-սեղմիչ, 2-մամլամատ, 3-կոնտեյներ, 4-դանակ, 5-ներդիր, 6-փորձանմուշ*

**Նախնական կողմնային ճնշման տակ գտնվող չեռակալված կլոր հատույթով փոշենմուշի կտրումը առանցքային ուղղությամբ փորձարարական մեթոդը:**

Գլանական փոշենմուշի առանցքի ուղղությամբ կտրումով փորձարկման մամլակաղապարի սկզբունքային սխեման պատկերված է նկ. 4.7 - ում: Այն բաղկացած է 3 - կոնտեյներից, 1 և 2 - ձախ և աջ վերևի սեղմիչներից ու կիսազլանային մամլամատերից, 4 - ձախ և աջ ներքևի կիսազլանային մամլամատերից, 5 - նախնական առանցքային ճնշումը պահող զսպանակային հակասեղմիչից և 6 - մամլամատաբռնիչից:





Նկ. 4.7. Առանցքի ուղղությամբ կտրումով գլանական փորձանմուշի

փորձարկման մամլակաղապարի սխեման.

1-տեղմիչ, 2-վերնի կիսագլանային մամլամատեր, 3-կոնտեյներ, 4-ներքնի կիսագլանային մամլամատեր, 5-գսպանակային հակասեղմիչ, 6-մամլամատարքնիչ, 7-փորձանմուշ

Փորձնական հետազոտությունը իրականացվում է երկու փուլով.

1. սկզբում 7 գլանական փորձանմուշը որոշակի առանցքային ճնշման տակ մամլվում է վերնի և ներքնի համակցված զույգ-զույգ 2 և 4 կիսագլանային մամլամատերի միջև և որոշվում է կողային ճնշումը,

2. այնուհետև նախնական ճնշման տակ գտնվող 7 փորձանմուշը ձախակողմյան 2 կիսագլանային մամլամատով ենթարկվում է կտրման: Ընդ որում, ձախակողմյան կիսագլանային 2 մամլամատի տեղաշարժն ուղեկցվում է ձախակողմյան 4 մամլամատի՝ դեպի ներքև ընթացքով:

Նկ. 4.7 - ում դիտարկված փորձարարական մամլակաղապարի յուրահատուկ կառուցվածքը հնարավորություն է տալիս իրականացնել փորձանմուշի առանցքային հատույթի կտրում, որի դեպքում լարումը

համարվում է ճնշումով սկզբնական մամլման դեպքում առաջացած տեսականորեն որոշվող կողային ճնշումը:

### Եզրահանգում

1. Հետագոտվել է կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակը ընդհանրացված պլաստիկության պայմանների հիման վրա: Խնդիրը լուծվել է փոշենմուշի և մամլամայրի միջև հպակային շփման առկայության դեպքում՝ օգտագործելով բարակ հատույթների մեթոդը, որի համաձայն ենթադրվում է, որ փոշենմուշի լայնական հատույթում առանցքային լարումները բաշխվում են հավասարաչափ, և շրջանային ու շառավղային լարումները իրար հավասար են: Ստացվել են առանցքային և կողմնային ճնշումների որոշման մամլամայրի ընթացիկ բարձրությունից կախված՝ չափում չունեցող տեսական բանաձևեր: Սկզբնական առանցքային ճնշման

դեպքի համար, երբ  $\mu = 0$ ,  $\nu = 0$ , «Mathcad» ծրագրային միջավայրում կատարվել են թվային հաշվարկներ: Ստացված տվյալները հնարավորություն են տալիս գնահատել մամլամայրի բարձրությամբ նախապատրաստվածքի անհամասեռ դեֆորմացման աստիճանը՝ մասնավոր դեպքում առանցքային ճնշումը նվազում է մոտ 10%-ով, տարբեր պլաստիկության պայմաններով հաշվարկված տվյալների համընկնելիության առավելագույն տարբերությունը կազմում է 0,8%, իսկ կողմնային ճնշումներինը՝ 5,78%, ինչպես նաև կողմնային ճնշման գործակցի արժեքները տարբեր ներքին շփման անկյան արժեքների դեպքում համընկնում են Մ.Յու. Բալշինի աշխատանքներում բերված փորձարարական տվյալների հետ:

2. Զանգվածի պահպանման օրենքի օգտագործմամբ ստացվել է ազատ լցովի վիճակից ցնցանստելի վիճակի անցնելու դեպքում ընթացիկ ծակոտկենության որոշման բանաձև, ինչը հնարավորություն է տալիս ստանալ միջին դեֆորմացիայի համապատասխան մեծությունը, և ունենալով ցնցանստեցման ծակոտկենության վերջնական արժեքը, լուծել գործնական խնդիրներ՝ որոշել տվյալ գլանական մամլամայրում փոշու ծավալային բնութագրերով դրա բարձրությունը, կշիռը և այլ

պարամետրեր:

3. Մշակվել են նախնական առանցքային ճնշման տակ գտնվող կլոր և ուղղանկյուն հատույթներով չեռակալված փոշենմուշների կտրման փորձարարական եղանակներ, որոնցից երկրորդը ներկայացված է ՀՀ Էկոնոմիկայի նախարարության աշխատակազմի մտավոր սեփականության գործակալություն հայտ թիվ AM20150071-ով, ինչը հնարավորություն կտա հետագոտել չեռակալված փոշենյութից նախապատրաստվածքների իրական մեխանիկական հատկությունները բնորոշող փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյան և կառչման գործակցի արժեքները:

## ԳԼՈՒԽ 5. ՉԵՌԱԿԱԼՎԱԾ ՓՈՇԵՆՄՈՒՇԻ ԽՏԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ «ABAQUS» ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ

### 5.1. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի հետազոտումը «ABAQUS» ավտոմատացված ծրագրային միջավայրում

Վերջին տասնամյակներում փոշենյութերի խտացման գործընթացների կարևորության պատճառով կատարվում են հետազոտություններ, որոնցում ներկայացվել են ինչպես վերլուծական եղանակով լուծումներ, այնպես էլ ամենակատարելագործված թվային մեթոդներից մեկի՝ վերջավոր տարրերի մեթոդի հիման վրա մշակված ԱԾՄ – ում մոդելավորումներ:

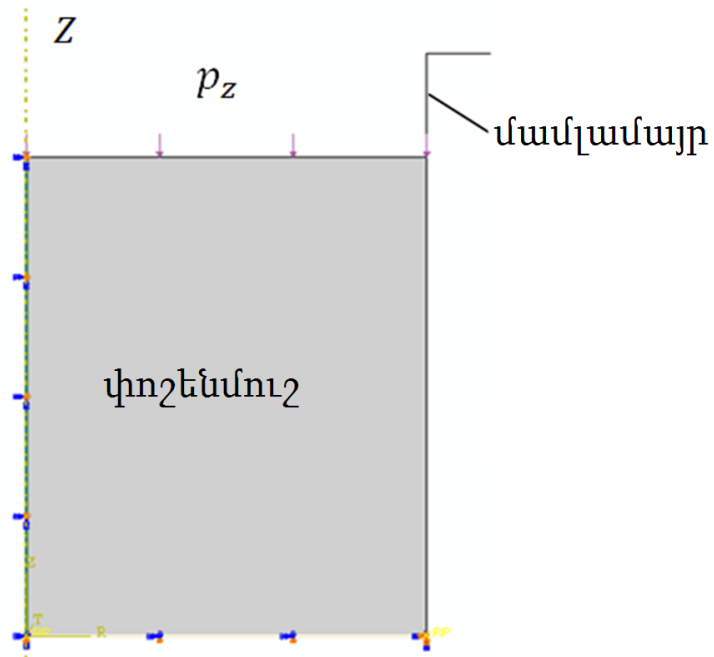
Հարկ է նշել, որ վերլուծական եղանակով հետազոտությունները լիարժեք չեն արտահայտում խտացման գործընթացի իրական պատկերը, իսկ ԱԾՄ - ում մոդելավորման տվյալները դեռևս քիչ են: Ընդ որում, ԱԾՄ - ի կիրառմամբ կարելի է ստանալ տարբեր նախապատրաստվածքների դեֆորմացման ամբողջական պատկերը և գնահատել տեսական մոտավոր եղանակներով հաշվարկների ճշտությունը: Հետևաբար, կոշտ գլանական մամլամայրում փոշենյութի խտացման գործընթացի մոդելավորումը ԱԾՄ - ում, դրա հետազոտումը վերլուծական եղանակով և ստացված տվյալների համեմատումը բավականին արդիական է:

Այս ենթաբաժնի նպատակը կոշտ գլանական մամլամայրում փոշենյութի խտացման գործընթացի մոդելավորումն է «ABAQUS» ԱԾՄ – ում և ստացված արդյունքների համեմատումը վերլուծական եղանակով հետազոտված տվյալների հետ:

ԱԾՄ - ով կոշտ գլանական մամլամայրում  $L = 6$  մմ բարձրությամբ,  $d = 10$  մմ տրամագծով չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի հետազոտման համար օգտագործվել են փոշենյութի հետևյալ պարամետրերը՝ ,

և [73]: Ընդունվել է, որ փոշենմուշի և մամլամայրի միջև շփման գործակիցը՝ , իսկ ազդող առանցքային ճնշումը՝ :

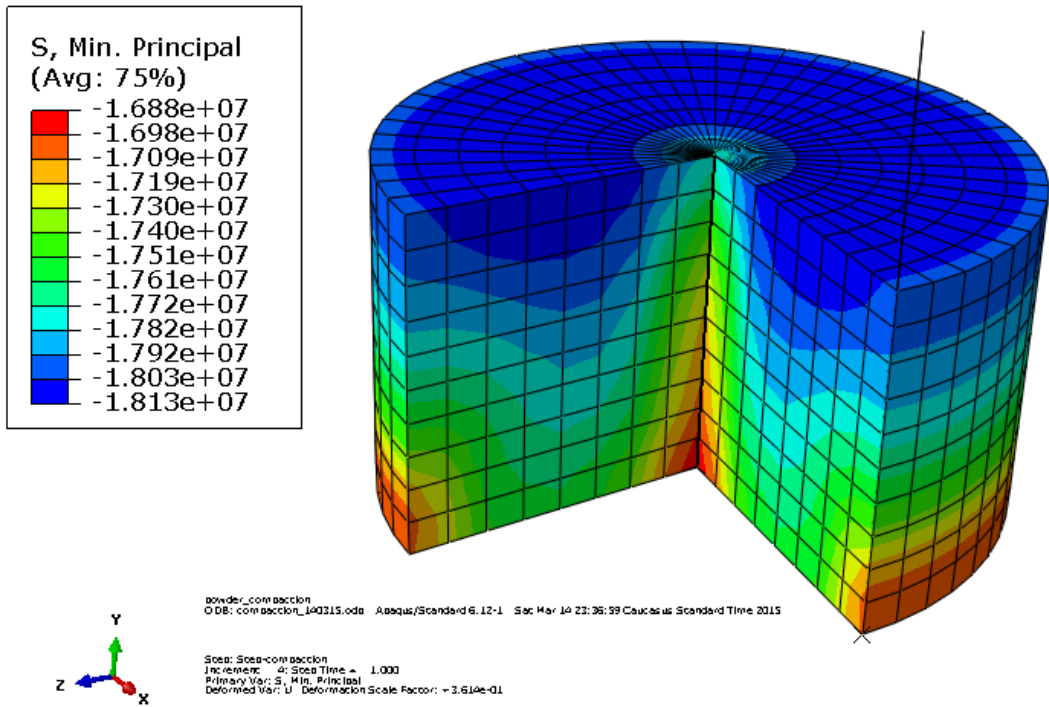
Քանի որ խնդիրը առանցքասիմետրիկ է, ուստի ԱՕՄ - ում չեռակավված փոշենյութի մամլման գործընթացը առանցքասիմետրիկ է մոդելավորված (նկ. 5.1):



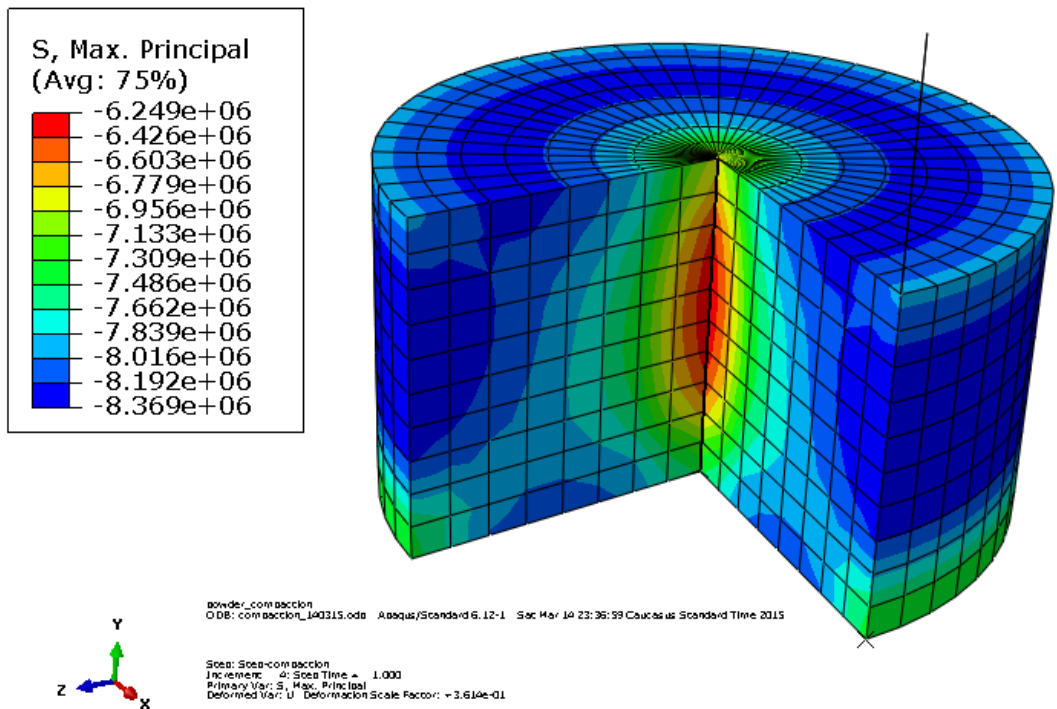
Նկ. 5.1. ԱՕՄ-ում մոդելի սխեման

## 5.2. Խնդրի լուծման թվային տվյալների ստացում և վերլուծում

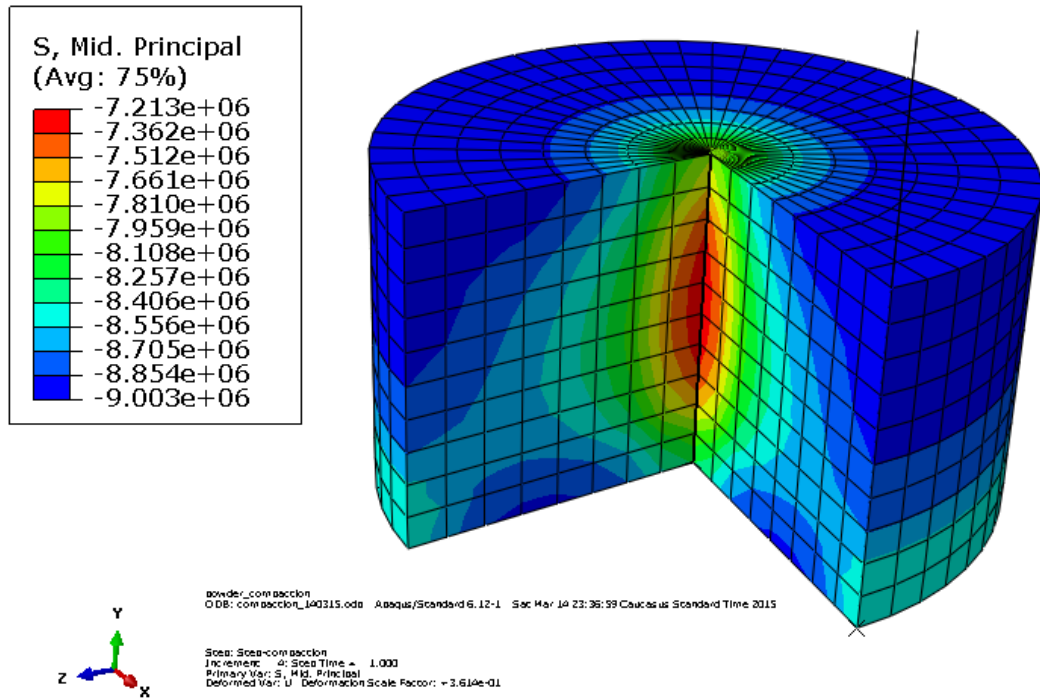
ԱՕՄ - ում կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակավված փոշենմուշի մամլման գործընթացի մոդելավորման արդյունքում լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչների համար ստացվել են բաշխման դաշտերը: Նկ. 5.2 – 5.5 - ում բերված են առանցքային, շառավղային և շրջանային լարումների և առանցքային դեֆորմացիայի համակարգչային տվյալները, որոնք ցույց են տալիս դրանց բաշխման անհամասեռության աստիճանը:



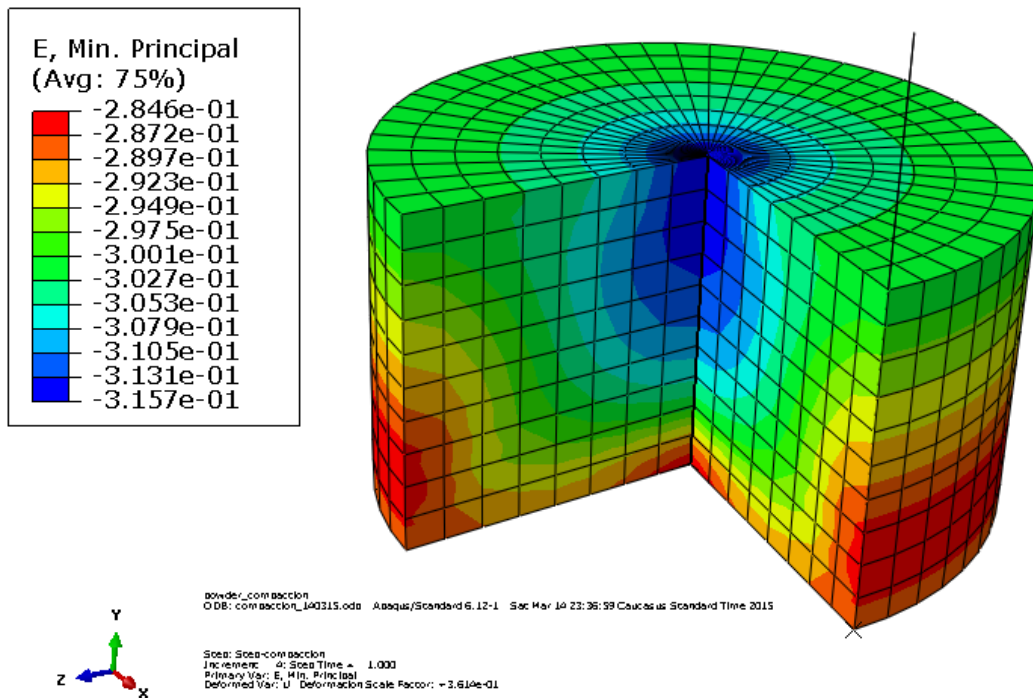
Նկ. 5.2. ԱՇՄ - ում առանցքային լարման բաշխման դաշտերը



Նկ. 5.3. ԱՇՄ - ում շառավիղային լարման բաշխման դաշտերը



Նկ. 5.4. ԱՕՄ - ում շրջանային լարման բաշխման դաշտերը



Նկ. 5.5. ԱՕՄ - ում առանցքային դեֆորմացիայի բաշխման դաշտերը

«ABAQUS» ԱՕՄ – ում Մոր–Կուլոնի պլաստիկության պայմանի հիման վրա կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի

մոդելավորմամբ ստացված լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչների վերլուծությունը ցույց է տվել, որ.

1. Սեղմող առանցքային լարումը նախապատրաստվածքում մամլամատի տակ, բացառությամբ դրա փոքր մակերեսով կենտրոնի, բավականին մեծ ճշտությամբ հավասարաչափ է բաշխված և հավասար է ճնշմանը, ինչը խնդրի եզրային պայմանն է: Դրա մեծությունը դեպի մամլամայրի հատակը աստիճանաբար պակասում է՝ դառնալով փոքր աստիճանի անհավասարաչափ:
2. Առանցքային լարման նման, դեպի մամլամայրի հատակը, աստիճանաբար փոքրանում են նաև առանցքային դեֆորմացիայի, շառավղային և շրջանային լարումների բացարձակ արժեքները: Ընդ որում, շառավղային և շրջանային լարումների արժեքների գոտիները բավականին իրար նման են, իսկ համապատասխան մեծությունները՝ մոտավորապես հավասար:

Այսպիսով, կարելի է նշել, որ կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի հետազոտման խնդրի լուծման վերլուծական եղանակում շրջանային և շառավղային լարումների հավասարության և լայնական հատույթում լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչների հաստատունության պայմանները փոքր հպակային շփման դեպքում ունեն բավականին մեծ ճշտություն:

Այժմ կատարենք կոշտ գլանական մամլամայրում փոշենյութի խտացման գործընթացի ԱՕՄ – ում ստացված արդյունքների համեմատում վերլուծական եղանակի թվային հաշվարկի տվյալների հետ:

Նկ. 5.6 - ում ցույց տրված 1 կորը համապատասխանում է ԱՕՄ - ում ստացված առանցքային ճնշման փոփոխությանը նմուշի առանցքի կոորդինատից կախված մոդելի եզրային մասում:

Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված բարձրությամբ և տրամագծով չեռակալված մետաղական փոշենմուշի մամլման



գործընթացի վերլուծական եղանակով լարվածային վիճակի չափային մեծությունների թվային հաշվարկների համար օգտվենք (4.18) բանաձևից՝

$$(5.1)$$

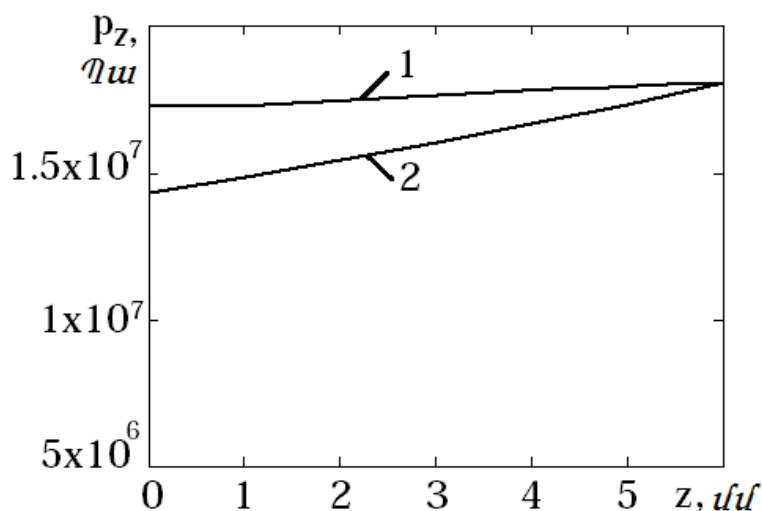
որտեղ  $\sigma$  - ը (4.23) բանաձևով որոշվող չափում չունեցող մեծություն է: Հետևաբար,

$$(5.2)$$

Խնդրի թվային հաշվարկները կատարվել են , և

[73] դեպքի համար, երբ ազդող առանցքային ճնշումը՝ և

ստացված տվյալներով կառուցվել է - ի գրաֆիկը (նկ. 5.6 –ի 2 կորը):



Նկ. 5.6 Առանցքային ճնշման գրաֆիկները՝ կախված նմուշի առանցքի կոորդինատից  
1 - ԱՕՄ - ում, 2 - վերլուծական եղանակով

Նկ. 5.6-ի 1 և 2 կորերի համեմատությունը ցույց է տալիս, որ վերլուծական եղանակով հաշվարկված աղյուսակային և ԱՕՄ - ում մոդելավորմամբ ստացված գրաֆիկական տվյալների առավելագույն տարբերությունը չի գերազանցում 20% -ը:

Հարկ է նշել, որ տվյալ դեպքում 1 և 2 առանցքային ճնշման կորերի համեմատությունը կրում է մոտավոր բնույթ, քանի որ 1-ի տվյալները վերցված են ըստ նկ. 5.2-ի՝ մոդելի միայն եզրային մասից:

### Եզրահանգում

«ABAQUS» ԱՕՄ – ում Մոր–Կուլոնի պլաստիկության պայմանի հիման վրա կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի մոդելավորման տվյալներով ստացվել են դրա լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչները, որոնց վերլուծությունը ցույց է տվել, որ խնդրի լուծման վերլուծական եղանակում շրջանային և շառավղային լարումների հավասարության և լայնական հատույթում լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչների

հաստատունության պայմանները փոքր հպակային շփման դեպքում ունեն  
բավականին մեծ ճշտություն, ինչպես նաև վերլուծական եղանակով հաշվարկված  
աղյուսակային և ԱԾՄ - ում մոդելավորմամբ ստացված գրաֆիկական տվյալների  
առավելագույն տարբերությունը չի գերազանցում 20% -ը:

## ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Օգտագործելով թեք հարթակների շոշափող և նորմալ լարումների բաղադրիչներով կազմված առանցքների համակարգում Մորի շրջանագիծը և դրան շոշափող Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի ուղիղ գիծը պատկերող գրաֆիկը՝ կապ է հաստատվում թեք հարթակների լարումների որոշման և փոշենյութի մասնիկների ներքին շփման անկյունների միջև, ինչը հնարավորություն է տվել պարզ տեսական ձևափոխություններով հիմնավորել գլխավոր լարումներով արտահայտված Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը:

2. Հոծ պլաստիկ նյութերի համար Տրեսկա-Սեն-Վենանի և Հուբեր-Միգեսի, իսկ մետաղական փոշենյութերի համար՝ Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների հիման վրա տարբեր լարվածային վիճակների դեպքերում (միառանցք սեղմում, մաքուր սահք, ինչպես նաև մաքուր սահքի ու հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցություն,) ստացված արդյունքները ցույց են տվել, որ իդեալական կապակցված փոշենյութի համար Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը վերափոխվում է Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանի, իսկ Դրուկեր-Պրագերինը՝ Հուբեր-Միգեսի պլաստիկության պայմանի, այսինքն՝ չեռակալված փոշենյութերի համար Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանները ընդհանրացված պլաստիկության պայմաններ են, և դրանցից մասնավոր դեպքում ստացվում են հոծ պլաստիկ նյութերի պլաստիկության պայմանները:

3. Վերլուծական եղանակով հետազոտվել են արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված մետաղական փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի լարվածային վիճակը և դրա սահմանային դեպքը:

Ստացված շառավղային ու միջօրեական լարումների, ինչպես նաև սահմանային դեպքին համապատասխան ճնշման համար «Mathcad» ծրագրային միջավայրում թվային հաշվարկները կատարվել են փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյան տարբեր արժեքների համար և ցույց է տրվել - ի առանձնահատուկ դերը չեռակալված մետաղական փոշենյութի պլաստիկ դեֆորմացման

գործընթացում: Դրա փոքրացման դեպքում լարվածային վիճակի բաղադրիչները, ինչպես նաև հաստապատ սնամեջ գնդի սահմանային ճնշման արժեքները մեծանում են: Մասնավոր դեպքում, երբ , ստացվում են հոծ նյութից սնամեջ գնդի խնդրի տվյալները: Ընդ որում, փոքր ներքին շառավղով հաստապատ չեռակալված սնամեջ գնդի դեպքում փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյան - ին համապատասխան սահմանային ճնշումը՝ - ը 32% - ով մեծ է ներքին շփման անկյուն ունեցող խողովակի - ից:

4. Հետազոտվել է կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակն ընդհանրացված պլաստիկության պայմանների հիման վրա: Խնդիրը լուծվել է փոշենմուշի և մամլամայրի միջև հպակային շփման առկայության դեպքում՝ օգտագործելով բարակ հատույթների մեթոդը, որի համաձայն ենթադրվում է, որ փոշենմուշի լայնական հատույթում առանցքային լարումները բաշխվում են հավասարաչափ, և շրջանային ու շառավղային լարումները իրար հավասար են: Ստացվել են առանցքային և կողմնային ճնշումների որոշման մամլամայրի ընթացիկ բարձրությունից կախված՝ չափում չունեցող տեսական բանաձևեր: Սկզբնական առանցքային ճնշման

դեպքի համար, երբ , , , «Mathcad» ծրագրային միջավայրում կատարվել են թվային հաշվարկներ: Ստացված տվյալները հնարավորություն են տալիս գնահատել մամլամայրի բարձրությամբ նախապատրաստվածքի անհամասեռ դեֆորմացման աստիճանը՝ մասնավոր դեպքում առանցքային ճնշումը նվազում է մոտ 10% - ով, տարբեր պլաստիկության պայմաններով հաշվարկված տվյալների համընկնելիության առավելագույն տարբերությունը կազմում է 0,8%, իսկ կողմնային ճնշումներինը՝ 5,78%, ինչպես նաև կողմնային ճնշման գործակցի արժեքները տարբեր ներքին շփման անկյան արժեքների դեպքում համընկնում են Մ.Յու. Բալչինի աշխատանքներում բերված փորձարարական տվյալների հետ:

5. Զանգվածի պահպանման օրենքի օգտագործմամբ ստացվել է ազատ լցովի վիճակից ցնցանստելի վիճակի անցնելու դեպքում ընթացիկ ծակոտկենության

որոշման բանաձև, ինչը հնարավորություն է տալիս ստանալ միջին դեֆորմացիայի համապատասխան մեծությունը, և ունենալով ցնցանստեցման ծակոտկենության վերջնական արժեքը, լուծել գործնական խնդիրներ՝ տվյալ գլանական մամլամայրում փոշու ծավալային բնութագրերով որոշել դրա բարձրությունը, կշիռը և այլ պարամետրեր:

6. Մշակվել են նախնական առանցքային ճնշման տակ գտնվող կլոր և ուղղանկյուն հատույթներով չեռակալված փոշենմուշների կտրման փորձարարական եղանակներ, որոնցից երկրորդը ներկայացված է «ՀՀ Էկոնոմիկայի նախարարության աշխատակազմի մտավոր սեփականության գործակալություն հայտ թիվ AM20150071-ով», ինչը հնարավորություն կտա հետագոտել չեռակալված փոշենյութից նախապատրաստվածքների իրական մեխանիկական հատկությունները բնորոշող փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյան և դրանց միջև կառչման գործակցի արժեքները:

7. «ABAQUS» ԱՕՄ - ում Մոր–Կուլոնի պլաստիկության պայմանի հիման վրա կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի մոդելավորման տվյալներով ստացվել են դրա լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչները, որոնց վերլուծությունը ցույց է տվել, որ խնդրի լուծման վերլուծական եղանակում շրջանային և շառավղային լարումների հավասարության և լայնական հատույթում լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչների հաստատունության պայմաններն ունեն բավականին մեծ ճշտություն, ինչպես նաև վերլուծական եղանակով ստացված աղյուսակային և գրաֆիկական տվյալների առավելագույն տարբերությունը չի գերազանցում 20% - ը:

**ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ**

1. **Раковский В.С.** Спеченные материалы в технике. - М.: Металлургия, 1978. - 231 с.
2. **Белов С.В.** Пористые металлы в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1976. - 184 с.
3. **Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысельский и др.** - Киев: Наукова думка, 1985. – 624 с.
4. **Бальшин М.Ю., Кипарисов С.С.** Основы порошковой металлургии. - М.: Металлургия, 1978. – 184 с.
5. **Бальшин М.Ю.** Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. - М.: Металлургия, 1972. - 535 с.
6. **Жданович Г.М.** Теория прессования металлических порошков. - М.: Металлургия, 1969. – 264 с.
7. **Жданович Г.М.** Сопротивление порошковых материалов. - Минск: Бестпринт, 1999. – 340 с.
8. **Либенсон Г.А.** Основы порошковой металлургии. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1987. – 208 с.
9. **Скороход В.В.** Реологические основы теории спекания. - Киев: Наукова думка, 1973. – 151 с.
10. **Касторнов А.Г.** Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов. - Том 1. - Киев: Наукова думка, 2002. - 569с.
11. **Сердюк Г.Г., Свистун Л.И.** Технология порошковой металлургии. - Ч.3. Спекание и дополнительная обработка: Учеб. пособие / Кубан. гос. технол. ун-т. - Краснодар: Изд. ГОУВПО КубГТУ, 2005. – 244 с.
12. **Джонс В.Д.** Основы порошковой металлургии. Прессование и спекание / Пер. с англ. - М.: Мир, 1965. - 403 с.
13. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1988. - 153 с.
14. **Феноменологические теории прессования порошков / М.Б. Штерн, Г.Г. Сердюк, Л.А. Максименко и др.** - Киев: Наукова думка, 1982. – 140 с.

15. **Степаненко А.В., Исаевич Л.А., Харлан В.Е.** Обработка давлением порошковых сред. - Минск: Наука и техника, 1993. – 167 с.
16. **Ковальченко М.С.** Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давлением. - Киев: Наукова думка, 1980. – 238 с.
17. **Павлов В.А., Кипарисов С.С., Щербина В.В.** Обработка давлением порошковых цветных металлов. - М.: Металлургия, 1977. - 155 с.
18. **Дорофеев Ю.Г.** Динамическое горячее прессование пористых порошковых заготовок. - М.: Металлургия, 1977. – 216 с.
19. **Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.** Порошковая металлургия. - М.: Металлургия, 1980. – 495 с.
20. **Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е.** Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. - Минск: Дзбор, 1998. – 258 с.
21. **Сердюк Г.Г., Свистун Л.И.** Технология порошковой металлургии. - Ч.2. Формование порошков: Учеб. пособие / Кубан. гос. технол. ун-т. - Краснодар: Изд. КубГТУ, 2005. – 240 с.
22. **Вяль Е.Ю.** Разработка технологии прессования порошковых материалов, обеспечивающей возможность их обработки в неспеченном состоянии: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Краматорск, 2003. – 19 с.
23. **Мусаелян Г.В.** Разработка методов расчета процессов уплотнения спеченных материалов при различных схемах прессования: Дис. ... канд. техн. наук. - Ереван, 1985. - 197 с.
24. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии / Спец. ред. Л.Е. Саркисян. – Ер.: Айастан, 1986. – 232 с.
25. **Агбальян С.Г.** Теоретические и технологические основы формирования и свойства порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Ереван, 1992. – 33 с.
26. **Петросян А.С.** Порошковая металлургия и технология композиционных материалов: Учебник для вузов. – Ер.: Авторское издание, 2007. – 240 с.
27. **Петросян Г.Л., Амбарцумян А.Ф.** Аналитическое исследование процесса прессования биметаллической трубы с пористым внутренним слоем в конической матрице // Реологія, структура, властивості порошкови́х композиційних матеріалів: Зб. Науков. Праць / Редактор В.В. Божидарник.- Луцьк, ЛНТУ.- 2004. - С. 121-138.

28. **Mamalis A.G., Petrosyan G.L., Manolakos D.E. and Petrosyan H.G.** Determination of initial compression stresses when extruding bimetallic tubes with porous internal layer // *Journal of Materials Processing Technology*.- 2006.- Vol. 172, issue 2.- P. 277-282.
29. **Скорород В.В.** Физико-механические свойства пористых материалов // Порошковая металлургия -77: Сборник докладов Международного симпозиума по порошковой металлургии АН УССР. - Киев: Наукова думка, 1977. - С. 120-129.
30. **Петросян Ж.Л., Петросян Х.Л.** Изучение действительных механических свойств экструдированного стержня // *Изв. ВУЗ-ов. Машиностроение*. – 1974. - N 1. - С. 31-35.
31. **Петросян Г.Л., Мусаелян Г.В.** Алгоритм вычисления действительных механических свойств пористого материала // *Доклады Академии наук Армянской ССР. Механика*. -1983. - Т. 77, N2. - С. 69-72.
32. **Петросян Г.Л., Куявяк Г., Олейник Р.** Разносопротивляемость чугуна на растяжение и сжатие // *Механика*. - Лодзь, 1991. - N77. - С. 51-60.
33. **Beiss P., El-Soeudy R.I., Petrosyan G.L.** Plastic Deformation Behaviour of Porous Sintered Steels // *Powder Metallurgy World Congress & Exhibition*.- Vienna, Austria, 2004.- 9 p.
34. **Beiss P., Petrosyan G.L., Levonyan H.L., Petrosyan H.G.** Porous cylindrical sample of high plastic deformation for testing and mechanical property definition // *Proceedings Engineering ASRA*.- Yerevan, 2007. - V.4, N2.- P. 212-216.
35. **Перелман В.Е.** Методика расчета процессов формообразования изделий из порошковых материалов // *Порошковая металлургия: Республ. межведомств. сборник Белорусского политехнического института*. - 1977. – Вып. 1. - С. 38 – 48.
36. **Rottman G.** Mechanisches Verhalten beim Trockenpressen – Triaxialversuche an SiC and Stahlpulver zur Untersuchung von Werkstoffmodellen: Dissertation of Doctor of Material Science.- Fraunhofer IWM , Germany, Mai, 2001. – 102 p.
37. **Касторнов А.Г.** Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов. - Том 2. - Киев: Наукова думка, 2003. – 548 с.
38. **Сердюк Г.Г., Свистун Л.И.** Технология порошковой металлургии. - Ч.1. Порошки: Учеб. пособие / Кубан. гос. технол. ун-т. - Краснодар: Изд. ГОУВПО КубГТУ, 2005. – 240 с.
39. **Феодосьев В.И.** Сопротивление материалов. - М.: Наука, 1986. – 512 с.
40. **Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко и др.** – Киев: Вища школа, 1986. – 775 с.



41. **Писаренко Г.С., Лебедев А.А.** Соппротивление материалов деформированию и разрушению при сложном напряженном состоянии. - Киев: Наукова думка, 1969. – 208 с.
42. **Belyaev N.M.** Strenght of materials. - Mir publishers, 1979. – 647 p.
43. **Малинин Н.Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: Машиностроение, 1975. – 399 с.
44. **Соколовский В.В.** Теория пластичности. - М.: Высшая школа, 1969. – 608 с.
45. **Хил Р.** Математическая теория пластичности. – М.: Гос. изд-во техн. литературы, 1956. – 407 с.
46. **Качанов Л.М.** Основы теории пластичности. - М.: Наука, 1969. – 420 с.
47. **Джонсон У., Меллор П.Б.** Теория пластичности для инженеров / Пер. с англ. - М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.
48. **Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш.** Механика пластических деформаций при обработке металлов. - М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.
49. **Сторожев М.В., Попов Е.А.** Теория обработки металлов давлением: Учебник для вузов. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1977. – 422 с.
50. **Грин Р.Дж.** Теория пластичности пористых тел // В кн.: Механика (периодический сборник переводов иностранных статей). - М.: Мир, 1973.- N 4 (140). - С. 109-120.
51. **Shima S., Oyane M.** Plasticity theory for porous materials // Int. J. Mech. Sci. – 1976. - 18. - P. 285.
52. **Петросян Г.Л.** О теории пластичности пористых тел // Известия вузов. Машиностроение. - 1977. – N 5. - С. 10-13.
53. **Петросян Г.Л.** Деформационная теория пластичности пористых материалов // Изв. вузов. Машиностроение. – 1978. – N 11. - С. 5-8.
54. **Петросян Г.Л.** Теория пластичности пористого ортотропного материала с изотропным упрочнением // Известия АН АрмССР. Механика. – 1980. - N3. - С. 158-164.
55. **Петросян Г.Л.** О критериях прочности пористых материалов // Доклады АН АрмССР. Механика. -1983. - Т. 77, N2. - С. 73-76.
56. **Мартынова И.Ф., Штерн М.Д.** Уравнение пластичности пористого тела, учитывающее истинные деформации материала основы // Порошковая литература. - 1978. - N1. - С. 23-29.
57. Применение уравнений теории пластичности пористого тела для определения напряжений в стационарных процессах обработки давлением порошковых

- материалов / **О.В. Роман, Е.А. Дорошкевич, Л.Д. Велюга и др.** // Порошковая металлургия. - 1980. - N 6. - С. 15-21.
58. **Лаптев А.М.** Построение деформационной теории пластичности пористых материалов // Известия вузов. Машиностроение. - 1980. - N 4. - С. 153- 156.
59. **Рудь В.Д., Мидуков В.З.** Экспериментальная проверка гипотез пластичности пористых тел // Порошковая металлургия. - 1982. - N 1. - С. 14 - 20.
60. **Петросян Г.Л., Аскиджян Г.К., Мусаелян Г.В.** Алгоритм исследования процессов упругопластического деформирования порошковых материалов // Технологическая и конструкционная пластичность порошковых материалов: Сб. науч. тр. – Киев: ИПМ АН УССР, 1988. - С. 41-47.
61. **Друянов Б.А.** Прикладная теория пластичности пористых тел. - М.: Машиностроение, 1989. -168 с.
62. **Федотов А.Ф.** Вариант континуальной модели упругих и пластических свойств порошковых материалов // Порошковая металлургия. - 2011. - N 5/6. - С. 67-82.
63. **Պետրոսյան Գ.Լ., Պետրոսյան Հ.Գ., Լևոնյան Հ.Լ.** Ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսության պարզեցված բանաձևերի մասին // ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու.- Երևան, 2005. - Հատոր 2.- էջ 411-413:
64. **Петросян Г.Л., Петросян А.Г., Левонян Г.Л.** Усовершенствование инженерного метода использования формулы для определения пористости спеченных материалов // Материалы секции “Наука и технологии будущего” Международного конгресса, посвященного 160-летию со дня рождения выдающегося русского инженера В.Г. Шухова, 17-18 апреля 2014 г. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. - С. 211-217.
65. **Drucher D., Prager W.** Soil mechanics and plastic analysis or limit design // Quarterly of Applied Mathematics. – 1952. - P. 157-175.
66. **Соколовский В.В.** Статика сыпучей среды. - М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1960.- 243 с.
67. **Перелман В.Е.** Формование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1979. – 232 с.
68. **Petrosyan G., Kraft T.** Application of plasticity theory for simulating compaction of metal powder. Report 1. Equations of plasticity theory of a constitutive model for metal powder // Proceedings of Engineering ASRA.- 2005.- V.2, N 4. – P. 538-543.

69. **Petrosyan G., Kraft T.** Application of plasticity theory for simulating compaction of metal powder. Report 2. Development of method for solving the hardening behavior of metal powders during compaction // Proceedings of Engineering ASRA.- 2006.- V.3, N 2. – P. 234-241.
70. **Sandler I., DiMaggio F.** Generalized cap model for geological materials // Journal of the geotechnical engineering division: Proceedings of ASCE. – 1976. - 102, GT7. P. 683-699.
71. **Brochu M., Turenne S.** Experimental method for determining densification function of metal powder and its validity // Powder Metallurgy. – 2004. - Vol. 47, N1.- P. 55-59.
72. **Goube O., Riedel H.** Numerical simulation of powder die compaction with special consideration of cracking // Powder Metallurgy. – 2000.-Vol. 43, N2.-P. 123-131.
73. **Khoei Amir R., Lewis Roland W.** Finite element simulation for dynamic large elastoplastic deformation in metal powder forming. Finite Elements in Analysis and Design // Elsevier Science. -1998.-30.- P. 335-352.
74. **Aydin I., Briscoe B.J., Sanliturk K.Y.** Dimensional variation of die-pressed ceramic green compacts: comparison of a FEM with experiment // Journal of the European ceramic Society. -1997.-17.-P. 1201-1212.
75. **Brekelmans W.A.M.** Comparison of Two Drucker-Prager-type Constitutive Models for Granular Material Behaviour in Uniaxial Compression // Powder Technology. -1990- 62. - P. 21-26.
76. Моделирование процесса прессования круглого стержня в конической матрице в условиях больших противодавлений / **Г.Л. Петросян, Г.Г. Хачатрян, М.Б. Сафарян и др.** // Вестник НПУА. Механика, машиноведение, машиностроение. Ереван, 2015. - N1. - С. 26-35.
77. **Gu C., Kim M., Anand L.** Constitutive equation for metal powder forming: application to powder forming processes // International Journal of Plasticity. – 2001. – 17. – P. 147-209.
78. A modified Drucker-Prager Cap model for die compaction simulation of pharmaceutical powders / **L.H. Han, J.A. Elliott, A.C. Bentham et al** // Elsevier Science. – 2007. – 19. – P. 3088-3106.
79. **Kraft T., Coube O., Ridel H.** Numerical simulation of pressing and sintering in the ceramic and hard metal industry // Recent development in computer modeling of powder metallurgy process. - IOS Press, 2001. - P. 181-190.
80. **Lewis R., Khoei A.** A plasticity model for metal powder forming process // International Journal of Plasticity. – 2001.-17. - P. 1659-1692.

81. **Chtourou H., Guillot M., Gakwaya A.** Modeling of the metal powder compaction using the cap model. Part I. Experimental material characterization and validation // International Journal of Solids and Structure. – 2002.-39. - P. 1059-1075.
82. **Brown S.B., Weber G.G.,** A constitutive Model For the compaction of Metal Powders // Modern Developments in Powder Metallurgy. – 1988. - Vol. 18-21. - P. 465-476.
83. **Transorras J., Krauss T.M., Ferguson B.L.** Modeling of Compaction Using the Finit Element Method // Proceedings of the Powder Metallurgy Conf. Exhibition. – 1989. - Vol. 1. - P. 85-104.
84. **Kim H.S., Oh S, Lee J.** Constitutive Model for Cold Compaction of Ceramic Powder // Communications of the American Ceramic Society. – 2002. - Vol. 85, No 8. - P. 2137-2138.
85. **Haggblad H., Oldenburg M.** Modelling and simulation of metal powder die pressing with use of explicit time integration // Modeling Simul. Mater. Sci. Eng. – 1994. -2. - P. 893-911.
86. **Պետրոսյան Գ.Լ., Արզումանյան Մ.Գ.** Արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված գնդի սահմանային վիճակի հետազոտումը // ՀՊՃՀ Լրաբեր (Պոլիտեխնիկ). Գիտական հոդվածների ժողովածու.-Երևան, 2012.– Մաս 1. - էջ 106-117:
87. **Պետրոսյան Գ.Լ., Արզումանյան Մ.Գ.** Չեռակալված փոշենյութերի Սոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների օգտագործման առանձնահատկությունները // ՀՊՃՀ Լրաբեր (Պոլիտեխնիկ). Գիտական հոդվածների ժողովածու.-Երևան, 2014.– Մաս 2. - էջ 326-333:
88. **Արզումանյան Մ.Գ.** Սոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների օգտագործումը չեռակալված փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի հետազոտման դեպքում // Միջբուհական երիտասարդական գիտաժողովի նյութերի ժողովածու “Արդի տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ”, 9-11 հոկտեմբեր 2013.- Երևան, 2014.- էջ 67-72:
89. **Петросян Г.Л., Арзуманян М.Г.** Об обобщенных условиях пластичности сплошных и металлических порошковых материалов // Материалы Межд. научн.-техн. конф. “Машиностроительные технологии и техника автоматизации – 2014”, 07-12 июля 2014 г.- Ереван, 2014.- С.108-113.
90. **Արզումանյան Մ.Գ.** Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակի հետազոտումը // ՀՊՃՀ Լրաբեր

(Պոլիտեխնիկ). Գիտական հոդվածների ժողովածու.-Երևան, 2015.- Մաս 2.- էջ 319-325:

91. **Петросян Г.Л., Арзуманян М.Г., Сафарян М.Б., Кесоян Г.Р.** Особенности исследования процессов пластического деформирования неспеченных порошковых материалов // Вестник НПУА. Металлургия, материаловедение, недропользование. -2015.- No1.- С. 58-67.
92. **Պետրոսյան Գ.Լ., Արզումանյան Մ.Գ., Պետրոսյան Հ.Գ.** Գլանական մամլամայրում փոշենյութի խտացման գործընթացի հաշվարկման որոշ բնութագրերի մասին // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր: ՏԳ սերիա.-2015.-Հատ. 68, No2. – էջ 119-129:
93. **Петросян Г.Л., Арзуманян М.Г.** Моделирование процесса прессования порошкового материала в жесткой цилиндрической матрице в программной среде «ABAQUS» и аналитическим методом // Материалы Межд. конф. “Актуальные проблемы механики сплошной среды”, 21-26 сентября 2015г.- Ереван, 2015.- С. 329-333.
94. **ГОСТ 21153.3-78.** Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении. - М., 1985. - 12с.
95. **ГОСТ 10180-90.** Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. - М., 1990. - 40с.
96. **Хознер Г.Г.** Линейная усадка при спекании порошковых материалов // В сб. “Новое в порошковой металлургии” / Пер. с англ. – М.: Металлургия,1970. - С. 5-34.