

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ
ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

ԱՐԶՈՒՄԱՆՅԱՆ ՄԱՐՏԻՆ ԳԱԼԵՐԻԿԻ

**ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՓՈՇԵՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾՔՆԵՐԻ ԽՏԱՑՄԱՆ
ԳՈՐԾՆԹԱՑՆԵՐՈՒՄ**

U.02.06 - «Մեքենաների, սարքերի և սարքավորումների դինամիկա,
ամրություն» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման
ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2015

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ**

АРЗУМАНЯН МАРТИН ГАЛЕРИКОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

ЕРЕВАН 2015

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի գիտական խորհրդի կողմից

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ., պրոֆ. Գ.Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Ֆ.մ.գ.դ., պրոֆ. Ա.Ա. ՎԱՆՑՅԱՆ

տ.գ.թ., դոց. Գ.Վ. ՄՈՒՍՍՅԵԼՅԱՆ

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ-ի Մեխանիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2015թ. դեկտեմբերի 25 - ին ժամը 13⁰⁰ - ին Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող ԲՈՂ-ի 034 մասնագիտական խորհրդի նիստում:
Հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:
Սեղմագիրը առաքված է 2015թ. նոյեմբերի 24 - ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,
տ.գ.թ., դոց.



Ս.Գ. Հարությունյան

Тема диссертации утверждена Ученым советом Национального политехнического университета Армении

Научный руководитель: д.т.н., проф. Г.Л. ПЕТРОСЯН

Официальные оппоненты: д.ф.м.н., проф. А.А. ВАНЦЯН
к.т.н., доц. Г.В. МУСАЕЛЯН

Ведущая организация: Институт механики НАН РА

Защита состоится 25-го декабря 2015г. в 13⁰⁰ ч. на заседании Специализированного совета 034 ВАК при Национальном политехническом университете Армении по адресу: 0009, Ереван, ул. Теряна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 24-го ноября 2015г.

Ученый секретарь специализированного совета
к.т.н., доц.



М.Г. Арутюнян

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի հրատապությունը և արդիականությունը. Մեքենաշինության ոլորտում մեծ կիրառություն ունեն փոշենյութերից պատրաստված մեքենամասերը, որոնց ստացումն իրականացվում է փոշեմետալուրգիայի մեթոդներով: Տեխնոլոգիական գործընթացը հիմնականում կազմված է երկու մասից: Սկզբում տարբեր մանլակադապարներում 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: Այնուհետև դրանք տեղադրելով վառարաններում՝ ենթարկում են եռակալման: Հետագայում եռակալված նախապատրաստվածքները ենթարկում են լրացուցիչ ճնշմամբ մշակման՝ տալով դրանց վերջնական խտություն և տեսք: Արդյունքում ստացվում է բարձրորակ արտադրանք նյութերի և եներգիայի ավելի քիչ ծախսի դեպքում:

Փոշենյութերից պատրաստված մեքենամասերը կունենան տարբեր խտություն և ծակոտկենություն, որոնք էական ազդեցություն են թողնում նյութերի մեխանիկական հատկությունների, ամրության, պլաստիկ դեֆորմացման և քայքայման գործընթացների վրա:

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

Չնայած եռակալված և չեռակալված փոշենախապատրաստվածքների խտացման գործընթացների որոշակի նմանությանը, դրանց պլաստիկ դեֆորմացման և քայքայման մեխանիզմները զգալիորեն իրարից տարբերվում են:

Հարկ է նշել, որ եռակալված և չեռակալված ծակոտկեն փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների հետազոտությունները զարգացման փուլում են: Դրանք հիմնված են նախորդ դարի 70 - ական թվականներից մշակված և աստիճանաբար կատարելագործվող համապատասխան պլաստիկության տեսությունների վրա:

Եռակալված փոշենյութերի մեխանիկական հատկությունների որոշման 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, ինչի պատճառով այդ հետազոտությունները բավականին արդիական են:

Հետազոտման նպատակը և խնդիրները: Ատենախոսական աշխատանքի նպատակը չեռակալված մետաղական փոշենախապատրաստվածքների

լարվածային վիճակների հետազոտումն է դրանց խտացման գործընթացներում՝ թողարկվող արտադրանքի որակի ու արտադրողականության բարձրացման համար:

Առաջադրված նպատակին հասնելու համար լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

- 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):
- Չեռակալված մետաղական փոշենյութից սնամեջ գնդի լարվածային վիճակի և դրա սահմանային դեպքի հետազոտում եռառանցք հավասարաչափ սեղմման պայմանում:
- Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված մետաղական փոշենմուշի մամլման գործընթացի վերլուծական մեթոդով ուսումնասիրում հպակային շփման հաշվառմամբ:
- Գլանական փոշենմուշի խտացման գործընթացի հետազոտում «ABAQUS» ավտոմատացված ծրագրային միջավայրում (ԱՕՄ) և արդյունքների համեմատում վերլուծական եղանակով ստացված տվյալների հետ:
- Չեռակալված մետաղական փոշենյութի մեխանիկական հատկությունները բնութագրող փոշու հատիկների միջև շփման անկյան և դրանց միջև կառչման գործակցի որոշման մեթոդների մշակում:

Հետազոտման մեթոդները: Հետազոտություններն անցկացվել են փոշենյութերի համար Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների հիման վրա: Չեռակալված փոշենյութից սնամեջ գնդի պլաստիկ դեֆորմացման գոտում լարումների որոշումը իրականացվել է հոսունության վիճակի՝ գործնականում կարևոր խնդիրների լուծման մեթոդի՝ առանց դեֆորմացիաների դիտարկման հավասարակշռության հավասարման և հոսունության պայմանի օգտագործմամբ: Այդ դեպքում խնդրի լուծումը դառնում է ստատիկորեն որոշելի, այսինքն՝ այն պարզեցվում է: Չեռակալված փոշենյութից գլանական նախապատրաստվածքի մամլման գործընթացի ուսումնասիրման համար օգտագործվել է բարակ հատույթների մեթոդը: Թվային հաշվարկները կատարվել են «Mathcad» ծրագրային միջավայրում: Գլանական փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածադեֆորմացիոն վիճակը հետազոտվել է նաև ամենակատարելագործված ԱՕՄ – ից մեկի հիման վրա և տվյալները համեմատվել են վերլուծական եղանակով ստացված տվյալների հետ:

Աշխատանքի գիտական նորույթը

1. Գլխավոր լարումներով արտահայտված Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի պարզ տեսական ձևափոխություններով հիմնավորումը:
2. Տարբեր լարվածային վիճակների ուսումնասիրության հիման վրա չեռակալված փոշենյութերի Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պարագերի պլաստիկության պայմանների ընդհանրացվածության ապացուցումը, որոնցից մասնավոր դեպքում ստացվում են հոծ նյութերի Տրեսկա-Սեն-Վենանի և Հուբեր-Միգեսի պլաստիկության պայմանները:
3. Առաջին անգամ ընդհանրացված պլաստիկության պայմանների հիման վրա չեռակալված մետաղական փոշենյութից նախապատրաստվածքների խտացման հետևյալ տեխնոլոգիական գործընթացների լարվածային վիճակների վերլուծական մեթոդով հետազոտումը, որից մասնավոր դեպքում ստացվում է հոծ նյութի համար համապատասխան խնդիրների լուծումը`
 - արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված հաստապատ սնամեջ գնդի եռառանցք հավասարաչափ սեղմման և դրա սահմանային բեռի որոշումը,
 - հպակային շփման առկայության դեպքում կոշտ գլանական մամլամայրում փոշենմուշի մամլումը:
4. Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակի ԱՕՄ – ում Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի հիման վրա մոդելավորումը և տվյալների համեմատումը վերլուծական եղանակով ստացված արդյունքների հետ:
5. Չեռակալված փոշենյութերի դեֆորմացիոն իրական բնութագրերի, փոշու հատիկների միջև շփման անկյան և դրանց միջև կառչման գործակցի որոշման մեթոդի մշակումը:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը

1. Տեսական կարևոր նշանակություն ունեցող արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված մետաղական փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի շառավղային, միջօրեական լարումների և սահմանային վիճակին համապատասխան ճնշման որոշման բանաձևերը, ինչպես նաև դրանց հիման վրա ստացված տվյալներով կազմված աղյուսակները և նոմոգրամները կարող են օգտագործվել լաբարատոր և գործարանային պայմաններում:
2. Կոշտ գլանական մամլամայրում տարբեր նյութերից չեռակալված փոշենմուշների մամլման դեպքում առանցքային և կողմնային ճնշումների որոշման` չափում չունեցող տեսական բանաձևերը հնարավորություն կտան որոշել նախապատաստվածքի ամբողջ ծավալով խտացման գործընթացի պարամետրերը (միջին լարումը, ծակոտկենությունը, խտությունը), ինչպես նաև կատարել մամլամատի և մամլամայրի ամրության հաշվարկ, մամլիչի ընտրություն և այլ պարամետրեր:

3. Փոշենյութի ազատ լցովի վիճակից ցնցանստեղի վիճակի անցնելու դեպքում ընթացիկ ծակոտկենության բանաձևով, ունենալով ցնցանստեցման ծակոտկենության վերջնական արժեքը, կարելի է ստանալ միջին դեֆորմացիայի համապատասխան մեծությունը և լուծել գործնական խնդիրներ՝ որոշել տվյալ գլանական մամլամայրում փոշու ծավալային բնութագրերով դրա բարձրությունը, կշիռը և այլն:

4. Չեռակալված փոշենյութերի դեֆորմացիոն իրական բնութագրերի որոշման գյուտի արտոնագրի ներկայացված եղանակը, ինչպես նաև միառանցք սեղմման, մաքուր սահքի, մաքուր սահքի ու հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցության լարվածային վիճակների վերլուծման տվյալները հնարավորություն կտան հետագոտել չեռակալված փոշենյութից նախապատրաստվածքների իրական մեխանիկական հատկությունները բնորոշող փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյան և դրանց միջև կառչման գործակցի արժեքները:

Տեսական հետազոտությունների արդյունքները և առաջարկվող փորձարարական մեթոդները ընդունվել են «ՄԱՄԼԻՉ-ՆԿ» ՍՊԸ - ի կողմից ակտ-երաշխավորագրով՝ չեռակալված փոշենյութերից նախապատրաստվածքներ պատրաստելու և դրանց մեխանիկական հատկությունների որոշման գործընթացներում օգտագործելու համար:

Պաշտպանության 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 փոշենյութերի պլաստիկության պայմաններով տարբեր լարվածային վիճակների հետազոտմամբ ընդհանրացված պլաստիկության պայմանների բացահայտումը:

3. Վերլուծական եղանակով արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված մետաղական փոշենյութից 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 փոշենյութի խտացման գործընթացի բնութագրերի օգտագործմամբ մետաղական փոշու խտացման տեխնոլոգիական պարամետրերի որոշման արդյունքները:

5. Փոշենյութերի 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 փոշենմուշի լարվածային վիճակի մոդելավորումը ԱՕՄ – ում և արդյունքների համեմատումը վերլուծական եղանակով ստացված տվյալների հետ:

Աշխատանքի արդյունքների փորձարկումը և հրապարակումները

Ատենախոսության աշխատանքի հիմնական հետազոտությունների գիտական արդյունքները և դրույթները զեկուցվել և քնարկվել են՝ 2011, 2013, 2014թթ. – ին ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողովներում, 2013թ. – ին «Արդի տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ» միջբուհական երիտասարդական գիտաժողովում (ՀՊՃՀ), 2014թ. – ին «Մեքենաշինական տեխնոլոգիաներ և ավտոմատացման տեխնիկա» միջազգային գիտաժողովում (ՀՊՃՀ) և 2015թ – ին «Հոծ միջավայրի մեխանիկայի արդի պրոբլեմները» միջազգային գիտաժողովում (ՀՀ ԳԱԱ Մեխանիկայի ինստիտուտ):

Ատենախոսության հիմնական դրույթները և արդյունքները հրապարակվել են 8 գիտական աշխատանքներում: Թեմայի վերաբերյալ ներկայացված է թիվ AM20150071 հայտը՝ ՀՀ գյուտի արտոնագիր ստանալու համար:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, հինգ գլխից, ընդհանուր եզրակացություններից, 96 անուն օգտագործված գրականության ցանկից և հավելվածից: Այն շարադրված է 110 համակարգչային տպագիր էջի վրա, ներառում է 43 նկար և 12 աղյուսակ:

ՍՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԲՈՎԱՆՂԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածությունում հիմնավորվել է հետազոտվող թեմայի արդիականությունը և շարադրված աշխատանքի հիմնական դրույթների համառոտ բնութագրերը, ձևակերպվել են հետազոտության նպատակն ու խնդիրները, ցույց են տրվել աշխատանքի գիտական նորույթն ու գործնական նշանակությունը:

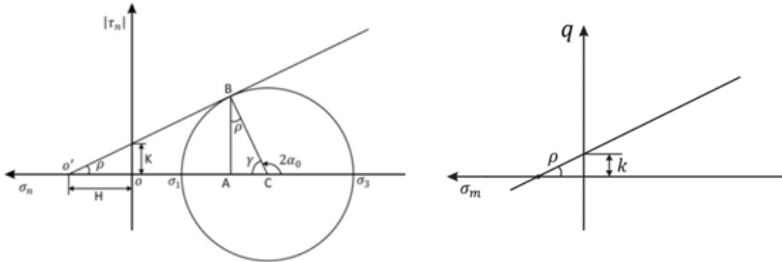
Առաջին գլխում («Մետաղական փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների վերաբերյալ գրականության վերլուծություն») քննարկվել են եռակալված և չեռակալված փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների հետազոտման մեթոդների առանձնահատկությունները: Փոշենյութի խտացումը դիտարկվում է որպես սեղմվող մարմինների դեֆորմացման գործընթաց, որոնց պլաստիկ հատկությունները հիմնականում որոշվում են ծակոտկեն միջավայրի խտության մեծությամբ: Դա հնարավորություն է տալիս օգտագործել հոծ միջավայրի մեթոդները՝ չեռակալված փոշենյութերի դեֆորմացման գործընթացների ուսումնասիրման համար:

Վերլուծվել են հոծ և ծակոտկեն եռակալված ու չեռակալված փոշենյութերի Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանները:

Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը ուղիղ գծային կապ է հաստատում թեք հարթակների τ_n շոշափող լարման և σ_n նորմալ լարման բաղադրիչների միջև (նկ. 1)

$$|\tau_n| = \sigma_n \operatorname{tg} \rho + k, \quad (1)$$

որտեղ ρ - ն փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյունն է, k - ն՝ դրա հատիկների կառչման գործակիցը:



Նկ. 1. Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանը պատկերող գրաֆիկները

Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանն ուղիղ գծային կապ է հաստատում քառակուսի աստիճանի արմատ լարման դեվիատորի երկրորդ ինվարիանտի (q) և միջին լարման (σ_m) միջև (նկ. 1)

$$q \cos \rho - \sigma_m \sin \rho = k \cos \rho, \quad (2)$$

որտեղ σ_1 , σ_2 և σ_3 - ն գլխավոր լարումներով արտահայտված q - ն և σ_m - ն ունեն հետևյալ տեսքը՝

$$q = \sqrt{\frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}, \quad (3)$$

$$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3: \quad (4)$$

Քննարկվել են չեռակալված մետաղական փոշենմուշների պլաստիկ դեֆորմացման փորձարարական մեթոդների օրինակներ:

Երկրորդ գլխում, («Հոծ և փոշենյութերի պլաստիկության պայմանների օգտագործման առանձնահատկությունները») 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 (նկ. 1), կապ է հաստատվել թեք հարթակների լարումների դիրքի որոշման և փոշենյութի մասնիկների ներքին շփման անկյունների միջև՝ $\sin 2\alpha_0 = \cos \rho$, $\cos 2\alpha_0 = -\sin \rho$: Այնուհետև օգտագործվել են գլխավոր լարումներով

արտահայտված թեք հարթակներում τ_n և σ_n լարումների որոշման բանաձևերը և պարզ ձևափոխություններով հիմնավորվել է զլխավոր լարումներով արտահայտված Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը.

$$|\sigma_3 - \sigma_1| = (\sigma_3 + \sigma_1 + 2k \operatorname{ctg} \rho) \sin \rho: \quad (5)$$

Չեռակալված փոշենյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների առանձնահատկությունների բացահայտման համար ուսումնասիրվել են Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների հիման վրա հետևյալ լարվածային վիճակները. մաքուր սահք՝ $\sigma_1 = \tau$, $\sigma_2 = 0$, $\sigma_3 = -\tau$, միառանցք սեղմում՝ $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$, $\sigma_3 = -\sigma$ և մաքուր սահքի ու հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցություն՝ $\sigma_1 = \tau - p$, $\sigma_2 = -p$, $\sigma_3 = -\tau - p$ (նկ. 2):

Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանից համապատասխանաբար ստացվել են՝

$$\tau = k \cos \rho, \quad \sigma = \frac{2k \cos \rho}{1 + \sin \rho} \quad \text{և} \quad \tau = k \cos \rho - p \sin \rho, \quad (6)$$

իսկ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանից՝

$$\tau = k, \quad \sigma = 3k \cos \rho / (\sqrt{3} \cos \rho + \sin \rho) \quad \text{և} \quad \tau = k - p \operatorname{tg} \rho: \quad (7)$$

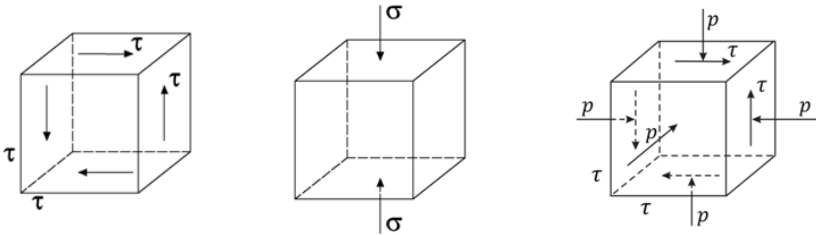
Առանձնահատուկ ուշադրության է արժանի փոշեմիջավայրի իդեալական կապակցված ($k \neq 0$ և $\rho = 0$) դեպքը:

Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանից այդ դեպքում նշված լարվածային վիճակների համար ստացվել են՝

$$\tau = k, \quad \sigma = 2k \quad \text{և} \quad \tau = k, \quad (8)$$

իսկ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանից՝

$$\tau = k, \quad \sigma = \sqrt{3}k \quad \text{և} \quad \tau = k: \quad (9)$$



Նկ. 2. Մաքուր սահքի, միառանցք սեղմման և մաքուր սահքի ու հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցության տարրերը

Ընդ որում, սովորական նյութի դեպքում նույն լարվածային վիճակների համար $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_h$ Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանից ստացվում են՝ $\tau = \sigma_h/2$, $\sigma = \sigma_h$ և $\tau = \sigma_h/2$,

իսկ $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_h^2$ Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանից՝ $\tau = \sigma_h/\sqrt{3}$, $\sigma = \sigma_h$ և $\tau = \sigma_h/\sqrt{3}$:

Ստացված բանաձևերի համեմատումից երևում է, որ k - ն Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանում փոխարինում է $\sigma_{\Sigma}/2$ - ին, իսկ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանում՝ $\sigma_{\Sigma}/\sqrt{3}$ - ին: Այսինքն, եթե Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանում k - ի փոխարեն տեղադրենք $\sigma_{\Sigma}/2$, ապա կստանանք Տրեսկա-Մեն-Վենանի պլաստիկության պայմանը, իսկ, եթե Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանում k - ի փոխարեն տեղադրենք $\sigma_{\Sigma}/\sqrt{3}$, կստանանք Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանը:

Այսպիսով կարող ենք ասել, որ իդեալական կապակցված նյութի համար Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը վերափոխվում է Տրեսկա-Մեն-Վենանի պլաստիկության պայմանի, իսկ Դրուկեր-Պրագերինը՝ Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանի:

Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների համեմատության համար (6) և (7) բանաձևերով «Mathcad» ծրագրային միջավայրում կատարվել են թվային հաշվարկներ փոշու ρ և k գործակիցների տարբեր արժեքների համար (աղ. 1), որոնք վերցված են Վ.Ե. Պերելմանի փորձարարական արդյունքներից:

Աղյուսակ 1
Մոր-Կուլոնի (w) և Դրուկեր-Պրագերի (p) պայմաններով կատարված հաշվարկները

ρ							
$k, \text{ՄՊա}$			65	115	105	80	50
Մաքուր սահք ($\tau, \text{ՄՊա}$)	(w)	65	115	105	80	50	
	(p)	61	110	102	78	50	
Միառանցքստեղմում ($\sigma, \text{ՄՊա}$)	(w)	93	169	159	123	87	
	(p)	91	170	164	130	100	
Մաքուր սահքի և հիդրոստատիկ ճնշման համատեղ ազդեցություն, երբ $p = 100 \text{ ՄՊա}$ ($\tau, \text{ՄՊա}$)	(w)	28	84	80	59	50	
	(p)	27	80	78	57	50	

Աղ. 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:

Երրորդ գլխում՝ («Եռառանցք հավասարաչափ սեղմված մետաղական փոշենյութից սնամեջ գնդի (նկ. 3) լարվածային վիճակի և դրա սահմանային դեպքի հետազոտումը») իրականացվում է գնահատելով գլխավոր լարումները՝

$$\sigma_1 = \sigma_r, \quad \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_\theta = \sigma_\varphi,$$

և օգտագործելով համապատասխան հավասարակշռության հավասարումը՝

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2}{r}(\sigma_r - \sigma_\theta) = 0, \quad (12)$$

ինչպես նաև Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության (2) պայմանը:

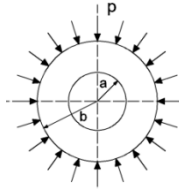
Օգտագործելով հետևյալ եզրային պայմանը $r = b$, $\sigma_r = -p$ ՝ միջօրեական σ_θ և շառավղային σ_r լարումների համար ստացվել են հետևյալ բանաձևերը.

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_r(\sqrt{3} \cos \rho - \sin \rho) - 3k \cos \rho}{\sqrt{3} \cos \rho + 2 \sin \rho}, \quad (13)$$

$$\sigma_r = (-p + k \operatorname{ctg} \rho) \left(\frac{r}{b}\right)^A - k \operatorname{ctg} \rho, \quad (14)$$

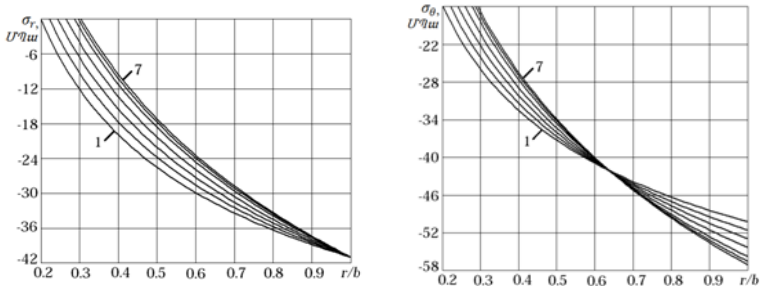
որտեղ r - ք գնդի ընթացիկ շառավիղն է, իսկ A գործակցը ունի հետևյալ տեսքը.

$$A = -6 \sin \rho / (\sqrt{3} \cos \rho + 2 \sin \rho): \quad (15)$$



Նկ. 3. Արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված սնամեջ գնդի բեռնավորման սխեման

Գնդի լարվածային վիճակի բաղադրիչների թվային հաշվարկները կատարվել են «Mathcad» ծրագրային միջավայրում $p = 41 \text{ ՄՊա}$, $k = 10 \text{ ՄՊա}$ և $\rho -$ ի՝ $10' \leq \rho \leq 5^\circ$ միջակայքի արժեքների դեպքում, ընդ որում, փոշու հատիկների միջև շփման անկյան ρ - ի քայլն ընտրվել է փոփոխական ($5^\circ, 4^\circ, 3^\circ, 2^\circ, 1^\circ, 30'$ և $10'$), իսկ նկ. 4 - ում ցույց են տրված σ_r - ի և σ_θ - ի փոփոխման գրաֆիկները՝ կախված r/b հարաբերությունից:



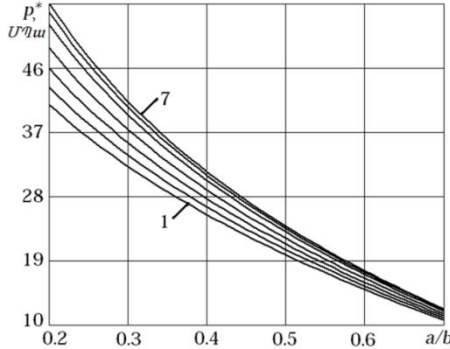
Նկ. 4. σ_r - ի և σ_θ - ի գրաֆիկները r/b - ից կախված ρ - ի տարբեր արժեքների դեպքում. 5° (1 - կոր), $4^\circ, 3^\circ, 2^\circ, 1^\circ, 30'$ և $10'$ (7 - կոր)

Ենթադրենք՝ σ_r - ի համար ստացված (14) արտահայտությունը բավարարում է նաև երկրորդ եզրային պայմանին (նկ. 4)՝ $r = a$, $\sigma_r = 0$, ապա

դա հնարավորություն կտա ըստ Լ.Մ. Կաչանովի որոշել սահմանային p^* ճնշումը՝

$$p^* = kctg\rho \left[1 - \left(\frac{b}{a} \right)^A \right] \quad (16)$$

Նկ. 5 - ում պատկերված է P^* սահմանային ճնշման գրաֆիկը a/b - ից կախված, երբ $k = 10 \text{ ՄՊա}$ և փոշու հատիկների միջև շփման անկյան ρ - ի՝ $10' \leq \rho \leq 5^\circ$ միջակայքի վերը բերված արժեքների դեպքում:



Նկ. 5. p^* սահմանային ճնշման գրաֆիկը՝ կախված a/b հարաբերությունից երբ $k = 10 \text{ ՄՊա}$ և $\rho - \text{ի } 10' \leq \rho \leq 5^\circ$ միջակայքի արժեքների համար.
 5° (1 - կոր), 4° , 3° , 2° , 1° , $30'$ և $10'$ (7 - կոր)

Նկ. 7 - ից երևում է, որ հաստապատ սնամեջ գնդի ներքին տրամագծի փոքրացում (պատի հաստության մեծացումը) հանգեցնում է սահմանային ճնշման արագ մեծացման: ρ - ի փոքրացմամբ ($\rho \rightarrow 0$ - ի դեպքում կունենանք հոծ նյութ) սահմանային ճնշման արժեքը մեծանում է: Ընդ որում, $a/b = 0.2$ - ի դեպքում p_7^* - ը 32% - ով մեծ է p_1^* - ից:

Ստացված տվյալների համեմատությունը ցույց է տալիս, որ փոշու հատիկների միջև ρ շփման անկյան փոքրացման դեպքում լարվածային վիճակի բաղադրիչները, ինչպես նաև հաստապատ խողովակի սահմանային ճնշման արժեքները մեծանում են:

Նշենք, որ սնամեջ գնդի խնդրի լուծման արդյունքները հնարավորություն են տալիս նաև համեմատել Դրուկեր-Պրագերի և Սոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանները: Դրա համար օգտագործելով Սոր-Կուլոնի պլաստիկության (5) պայմանը՝ միջօրեական լարման համար ստացվել է հետևյալ բանաձևը.

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_r(1 - \sin\rho) - 2k \cos\rho}{1 - \sin\rho} \quad (17)$$

Չեռակալված փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի համար Դրուկեր-Պրագերի և Սոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանների հիման վրա ստացված

(13) և (17) բանաձևերի համեմատության համար ρ - ի տարբեր արժեքների համար կատարվել են հաշվարկներ, որոնց հիման վրա կազմվել է աղ. 2 - ը:

Այդ տվյալներից առանձնահատուկ ուշադրության է արժանի $\rho = 0^{\circ}$ դեպքը: Այդուհանդերձ երևում է, որ այդ դեպքում արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի համար Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանը $\sigma_r - \sigma_{\theta} = 100$ կամ $\sigma_r - \sigma_{\theta} = 2k$ - ն է, որը իդրական կապակցված նյութի համար Տրեսկա-Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանն է: Ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի՝ $\sigma_r - \sigma_{\theta} = \sqrt{3} \cdot 50$ կամ $\sigma_r - \sigma_{\theta} = \sqrt{3}k$, որը Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանի ձևափոխած տեսքն է:

Աղյուսակ 2

Դրուկեր-Պրագերի և Մոր-Կուլոնի պայմաններով ստացված σ_{θ} - ի (13) և (17) բանաձևերով հաշված տվյալները

ρ	20°	17°	14°	12°	0°
$k, Մպա$	65	115	105	80	50
σ_{θ} - ի արժեքները ըստ (13) պայմանի, ՄՊա	$0,52\sigma_r - 7$	$0,60\sigma_r - 14$	$0,67\sigma_r - 14$	$0,70\sigma_r - 14$	$\sigma_r - \sqrt{3} \cdot 50$
σ_{θ} - ի արժեքները ըստ (17) պայմանի, ՄՊա	$0,50\sigma_r - 9$	$0,55\sigma_r - 17$	$0,61\sigma_r - 16$	$0,65\sigma_r - 16$	$\sigma_r - 100$

Չորրորդ գլխում («Կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի ուսումնասիրումը») դիտարկվում է հպակային f շփման գործակցի փոքր արժեքների դեպքում: Շոշափող լարումների փոքրության պատճառով d տրամագծով կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի (նկ. 6) լարվածային վիճակը հետազոտվում է՝ օգտագործելով հետևյալ գլխավոր լարումները.

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_{\theta} = \sigma_r = -p_r, \quad \sigma_3 = \sigma_z = -p_z, \quad (p_z > p_r),$$

փոշենմուշի հավասարակշռության հավասարումը՝

$$d \cdot dp_z = 4fp_r dz, \quad (18)$$

Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության (2) պայմանը, ինչպես նաև բարակ հատույթների մեթոդը, որտեղ p_z և p_r - ը առանցքային և շառավղային ճնշումներն են:

Դրանց չափում չունեցող մեծությունների համար ստացվել են հետևյալ բանաձևերը՝

$$\bar{p}_z = \frac{(a+b\bar{p}_0)e^{b(z-1.2)} - a}{b}, \quad (19)$$

$$\bar{p}_r = \frac{(a+b\bar{p}_0)e^{b(z-1.2)}}{4f}, \quad (20)$$

որտեղ

$$\frac{p_z}{k} = \bar{p}_z, \quad \frac{p_r}{k} = \bar{p}_r, \quad \frac{dp_z}{k} = d\bar{p}_z, \quad \frac{dz}{d} = d\bar{z},$$

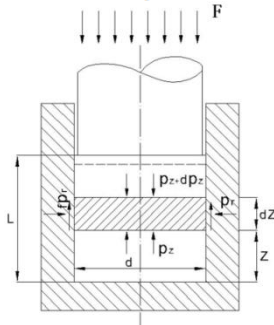
$$a = \frac{12f \cos \rho}{2 \sin \rho - \sqrt{3} \cos \rho}, \quad b = -\frac{4f(\sqrt{3} \cos \rho + \sin \rho)}{2 \sin \rho - \sqrt{3} \cos \rho}.$$

Մոր-Կուլոնի պլաստիկության (5) պայմանի օգտագործման դեպքում համապատասխանաբար ստացվել են հետևյալ բանաձևերը՝

$$\bar{p}_z = \frac{(a+b\bar{p}_z)e^{b(\bar{z}-1)} - a}{b}, \quad (21)$$

$$\bar{p}_r = \frac{(a+b\bar{p}_z)e^{b(\bar{z}-1)}}{4f}, \quad (22)$$

$$a = -\frac{8fk \cos \rho}{1 - \sin \rho}, \quad b = \frac{4f(1 + \sin \rho)}{1 - \sin \rho}.$$



Նկ.6. Բարակ հատույթների մեթոդով տարրի բեռնավորման սխեման

Խնդրի թվային հաշվարկները կատարվել են «Mathcad» ծրագրային միջավայրում սկզբնական առանցքային ճնշման $\bar{p}_{z0} = 3$ դեպքի համար, երբ $k = 60 \text{ ՄՊա}$, $\rho = 10^\circ$, $f = 0,05$:

Նկ. 7ա - ում կառուցվել են \bar{p}_z ու \bar{p}_r - ի գրաֆիկները՝ \bar{z} - ից կախված՝ 1 և 4 - կորերը, ըստ Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի, համապատասխանաբար \bar{p}_z ու \bar{p}_r - ի գրաֆիկներն են, իսկ 2 և 3 - կորերը՝ ըստ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի:

Նկ. 7ա - ի տվյալները ցույց են տալիս, որ մամլամատի տակ նախապատրաստվածքի \bar{p}_z ու \bar{p}_r - ի արժեքները ամենամեծն են դրա այլ հատույթների տվյալների համեմատ, ինչի պատճառով մամլամատի տակ նյութը ավելի է խտանում:

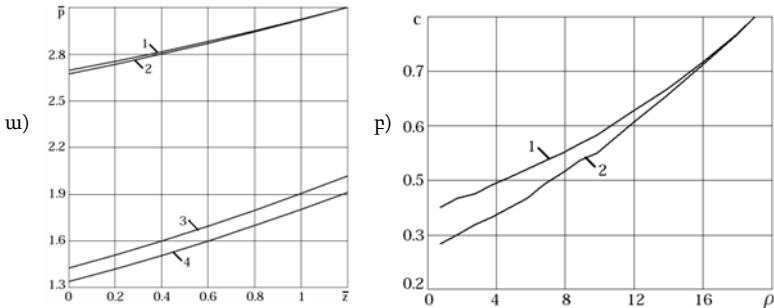
Նկ. 7բ - ում պատկերված է $c = \bar{p}_r/\bar{p}_z$ կողմնային ճնշման գործակցի և ρ ներքին շփման անկյան միջև կապի գրաֆիկները:

Ստացված տվյալները ցույց են տալիս.

- մամլամայրի բարձրությամբ նախապատրաստվածքի անհամասեռ դեֆորմացման աստիճանի մեծությունը՝ մասնավոր դեպքում առանցքային \bar{p}_z ճնշումը նվազում է մոտ 10% - ով,
- տարբեր պլաստիկության պայմաններով հաշվարկված տվյալների

համընկնելուության առավելագույն տարբերությունը կազմում է 0,8%, իսկ կողմնային ճնշումներինը՝ 5,78%,

- $c = \bar{p}_1 / \bar{p}_2$ կողմնային ճնշման գործակցի արժեքները տարբեր ρ ներքին շփման անկյան արժեքների դեպքում համընկնում են Մ.Յու. Բալշինի աշխատանքներում բերված փորձարարական տվյալների հետ: Ընդ որում, նկ. 7 բ) – ում 1 կորի տվյալները ստացվել են Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի հիման վրա, իսկ 2 կորինը՝ Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանի հիման վրա:



Նկ. 7. ա) \bar{p}_z - ի և \bar{p}_r - ի գրաֆիկները \bar{z} - ից կախված և բ) $c = \bar{p}_1 / \bar{p}_2$ կողմնային ճնշման գործակցի և ρ ներքին շփման անկյան միջև կապի գրաֆիկները

Չորրորդ գլխում քննարկվել են նաև զլանական մամլամայրում փոշենյութի խտացման գործընթացի փորձարարական և նյութի դեֆորմացիոն իրական բնութագրերի որոշման հետևյալ հարցերը:

1. Փոշենյութի ազատ լցովի վիճակից ցնցանստելի վիճակի անցնելու դեպքում v ընթացիկ ծակոտկենության բանաձևով՝

$$v = 1 - (1 - v_0) \exp(-3\varepsilon_0), \quad (23)$$

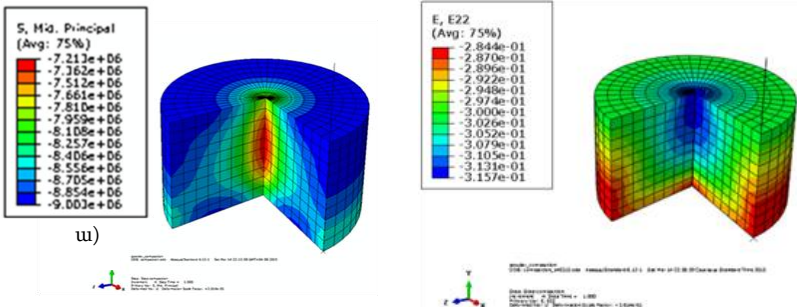
ունենալով ցնցանստեցման ծակոտկենության վերջնական արժեքը՝ կարելի է ստանալ միջին դեֆորմացիայի համապատասխան մեծությունը և լուծել գործնական խնդիրներ՝ որոշել տվյալ զլանական մամլամայրում փոշու ծավալային բնութագրերով դրա բարձրությունը, կշիռը և այլ պարամետրեր:

2. Մշակվել են նախնական առանցքային ճնշման տակ գտնվող կլոր և ուղղանկյուն հատույթներով չեռակալված փոշենմուշների կտրման փորձարարական եղանակները, որոնցից երկրորդը ներկայացված է ՀՀ Էկոնոմիկայի նախարարության աշխատակազմի մտավոր սեփականության գործակալություն հայտ թիվ AM20150071 - ու:

Հինգերորդ գլխում («Չեռակալված փոշենմուշի խտացման գործընթացի մոդելավորումը ԱՕՄ - ում») կատարվել է կոշտ զլանական մամլամայրում $L = 6$ մմ բարձրությամբ, $d = 10$ մմ տրամագծով փոշենմուշի մամլման

գործընթացի մոդելավորում Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի հիման վրա: Օգտագործվել են փոշենյութի հետևյալ պարամետրերը՝ $k = 5 \cdot 10^6 \text{ Պա}$, $\rho = 30^\circ$, Յունգի մոդուլը $E = 4 \cdot 10^7 \text{ Պա}$ և Պուասոնի գործակիցը $\mu = 0,35$: Ընդունվել է, որ փոշենմուշի և մամլամայրի միջև շփման գործակիցը հավասար է՝ $f = 0,05$, իսկ ազդող առանցքային ճնշումը՝ $p_0 = 2 \cdot 10^7 \text{ Պա}$:

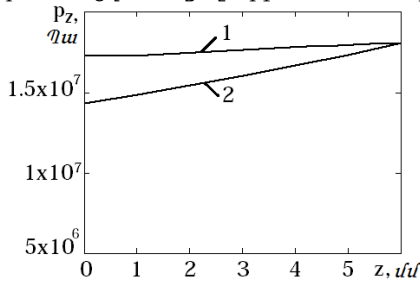
Լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչների համար ստացվել են բաշխման դաշտերը: Նկ. 8 - ում բերված են շրջանային σ_θ լարման և առանցքային ε_z դեֆորմացիայի համակարգչային տվյալները, որոնք ցույց են տալիս դրանց բաշխման անհամասեռությունը:



Նկ. 8. ԱՕՄ - ում շրջանային σ_θ լարման (ա) և առանցքային ε_z դեֆորմացիայի բաշխման դաշտերը

Նկ. 9 - ում ցույց է տրված առանցքային ճնշման փոփոխությունը նմուշի առանցքի z կորրդինատից մոդելի եզրային մասում (1 կոր) այն կառուցվել է ԱՕՄ - ում ստացված տվյալների հիման վրա:

Անալիտիկ եղանակով ստացված չափում չունեցող (21) բանաձևով մինևսյն փոշենմուշի համար կատարվել է չափային մեծությունների թվային հաշվարկ՝ (նկ.9 (2 կոր)) ստացված տվյալների համեմատության համար:



Նկ. 9. Առանցքային ճնշման գրաֆիկները՝ կախված նմուշի առանցքի կորրդինատից 1 - ԱՕՄ - ում, 2 - վերլուծական եղանակով

ԱՕՄ – ում Մոր-Կուլոնի պլաստիկության պայմանի հիման վրա կոշտ գլանական մամլամայրում չեռակալված փոշենմուշի մամլման գործընթացի մոդելավորման տվյալներով ստացվել են դրա լարվածադեֆորացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչները, որոնց վերլուծությունը ցույց է տվել, որ խնդրի լուծման վերլուծական եղանակում շրջանային և շառավղային լարումների հավասարության և լայնական հատույթում լարվածադեֆորացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչների հաստատունության պայմաններն ունեն բավականին մեծ ճշտություն, ինչպես նաև վերլուծական եղանակով ստացված աղյուսակային և գրաֆիկական տվյալների տարբերությունը ամենավատ դեպքում չի գերազանցում 20% - ը (նկ.9):

ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Օգտագործելով թեք հարթակների շոշափող և նորմալ լարումների բաղադրիչներով կազմված առանցքների համակարգում Մորի շրջանագիծը և նրան 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, որոնցից մասնավոր դեպքում ստացվում են նաև հոծ պլաստիկ նյութերի պլաստիկության պայմանները:

3. 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 ρ ներքին շփման անկյան տարբեր արժեքների համար և ցույց է տրվել ρ - 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 $\rho \rightarrow 0$ - ի, ստացվում են հոծ նյութից սնամեջ գնդի խնդրի տվյալները: Ընդ որում, փոքր ներքին շառավղով հաստապատ չեռակալված սնամեջ գնդի դեպքում ($a/b = 0.2$) փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյան $\rho = 10^\circ$ - ին համապատասխան սահմանային ճնշումը՝ p_1^* - ը 32% - ով մեծ է $\rho = 5^\circ$ ներքին շփման անկյուն ունեցող սնամեջ գնդի p_1^* - ից:

Արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված չեռակալված մետաղական փոշենյութից հաստապատ սնամեջ գնդի լարվածային վիճակի համար ստացված բանաձևերի հիման վրա ստացված տվյալներով կազմված աղյուսակները և նոտոգրամները կարող են օգտագործվել լաբարատոր և գործարանային պայմաններում:

4. Հետազոտվել 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: Ստացվել են առանցքային \bar{p}_z և կողմնային \bar{p}_r ճնշումների որոշման մամլամայրի ընթացիկ բարձրությունից կախված՝ չափում չունեցող տեսական բանաձևեր: Որոնք հնարավորություն կտան որոշել նախապատաստվածքի ամբողջ ծավալով խտացման գործընթացի պարամետրերը (միջին լարումը, ծակոտկենությունը, խտությունը), ինչպես նաև կատարել մամլամատի և մամլամայրի ամրության հաշվարկ, մամլիչի ընտրություն և այլ պարամետրեր: Սկզբնական առանցքային ճնշման $\bar{p}_{z0} = 3$ դեպքի համար, երբ $k = 60 \text{ ՄՊա}$, $\rho = 10^\circ$, $f = 0.05$ «Mathcad» ծրագրային միջավայրում կատարվել են թվային հաշվարկներ: Ստացված տվյալները հնարավորություն են տալիս գնահատել մամլամայրի բարձրությամբ նախապատաստվածքի անհամասեռ դեֆորմացման աստիճանը՝ մասնավոր դեպքում առանցքային \bar{p}_z 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 $c = \bar{p}_r/\bar{p}_z$ կողմնային ճնշման գործակցի արժեքները տարբեր ρ 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՝ որոշել տվյալ գլանական մամլամայրում փոշու ծավալային բնութագրերով դրա բարձրությունը, կշիռը և այլ պարամետրեր:

6. Մշակվել են նախնական առանցքային ճնշման տակ գտնվող կլոր և ուղղանկյուն հատույթներով չեռակալված փոշենմուշների կտրման փորձարարական եղանակներ, որոնք հնարավորություն կտան հետազոտել չեռակալված փոշենյութից նախապատրաստվածքների իրական մեխանիկական հատկությունները բնորոշող փոշու հատիկների միջև ներքին շփման անկյան և դրանց միջև կառչման գործակցի արժեքները:

7. 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: Հարկ է նշել, որ փոշենմուշի բարձրությամբ ԱՕՄ – ում ստացված արդյունքների և վերլուծական եղանակով ստացված արդյուսակային ու գրաֆիկական տվյալների առավելագույն տարբերությունը չի գերազանցում 20% - ը:

Ատենախոսության հիմնական դրույթները հրատարակվել են հետևյալ գիտական աշխատություններում.

1. Պետրոսյան Գ.Լ., Արզումանյան Մ.Գ. Արտաքին ճնշմամբ բեռնավորված գնդի սահմանային վիճակի հետազոտումը // Լրաբեր, Մաս-1, Գիտական հոդվածների ժողովածու.-Երևան, ճարտարագետ.-2012, էջ 106-117:

2. Պետրոսյան Գ.Լ., Արզումանյան Մ.Գ. Չեռակալված փոշենյութերի Մոր-Կուլոնի և Դրուկեր-Պրագերի պլաստիկության պայմանների օգտագործման առանձնահատկությունները // Լրաբեր, Մաս-2, Գիտական հոդվածների ժողովածու.-Երևան, ճարտարագետ.-2014, էջ 326-333:

3. Արզումանյան Մ.Գ. Մոր-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.-2014, էջ 67-72:

4. 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.- Ереван, 2014.- С.108-113.

5. Արզումանյան Մ.Գ. Կոշտոգ լանսկան մամլամայրում չեռակավված փոշենմուշի մամլման գործընթացի լարվածային վիճակի հետազոտումը // Լրարէր, Մաս-2, Գիտական հոդվածների ժողովածու.-Երևան, ճարտարագետ.- 2015, էջ 319-325:

6. Петросян Г.Л., Арзуманян М.Г., Сафарян М.Б., Кесоян Г.Р. Особенности исследования процессов пластического деформирования неспеченных порошковых материалов // Вестник, Metallurgia, материаловедение, недропользование. НПУА. Сер. -2015.- Вып. 18, No1.-С.58-67.

7. 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:

8. 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 2015.- Ереван, 2015.- С.329-333.

АРЗУМАНЯН МАРТИН ГАЛЕРИКОВИЧ
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК
РЕЗЮМЕ

В машиностроении большое применение имеют детали, изготовленные из порошковых материалов. Для их получения используются методы порошковой металлургии. Диссертационная работа посвящена изучению начальной стадии технологического процесса - холодному прессованию металлических порошков в различных пресс-формах. Исследование указанной проблемы представляет собой сложный и малоизученный процесс. Исходя из вышеизложенного, тема исследовани является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является исследование напряженно-деформированного состояния металлических неспеченных порошковых заготовок в процессах их уплотнения для повышения качества продукции и производительности.

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цель и задача исследования, представлены методы исследования, научная новизна,

практическая ценность, а также основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются особенности методов исследования процессов пластической деформации спеченных и неспеченных порошковых материалов. Уплотнение порошковых материалов рассматривается как процесс деформирования сжимаемых тел, пластические свойства которых в основном определяются величиной плотности пористой среды. Это дает возможность использовать методы механики сплошной среды для исследования процессов деформирования порошковых материалов.

Проанализированы условия пластичности неспеченных порошковых материалов Мора-Кулона и Друкера–Прагера.

Во второй главе на основе круга Мора и его касательной прямой, представляющей график условий пластичности Мора-Кулона, построенных в координатной системе касательными и нормальными компонентами напряжений наклонных площадок, путем простыми теоретическими формоизменениями обосновано условие пластичности Мора–Кулона, выраженное главными напряжениями.

В результате изучения различных напряженных состояний доказано, что условия пластичности Мора-Кулона и Друкера-Прагера являются обобщенными, на основе которых для сплошных материалов получаются условия пластичности Треска-Сен-Венана и Хубера-Мизеса.

В третьей главе аналитическим методом исследованы напряженное состояние полого шара из неспеченного порошкового материала, нагруженного внешним давлением, и его предельный случай.

Численные расчеты радиального и меридионального напряжений, а также давления, соответствующего предельному состоянию, осуществлялись в программной среде «Mathcad» для различных значений угла внутреннего трения ρ между частицами порошка. Показана особая роль ρ в процессах пластического деформирования неспеченных порошковых материалов.

При уменьшении ρ компоненты напряженного состояния, а также величины предельного давления полого шара увеличиваются. В частном случае, когда $\rho \rightarrow 0$, получаются данные задачи шара из сплошного материала.

В четвертой главе исследовано напряженное состояние процесса уплотнения неспеченного порошкового образца в жесткой цилиндрической матрице на основе условий пластичности Мора-Кулона и Друкера-Прагера.

Получены безразмерные теоретические формулы для определения осевого и радиального давлений. Численные расчеты, произведенные в программной среде «Mathcad», позволяют оценить степени неоднородной деформации заготовки по высоте матрицы и совпадения данных, вычисленных различными условиями пластичности, а также сравнить величины коэффициентов бокового давления $c = \bar{p}_r / \bar{p}_z$ с известными экспериментальными данными.

Определены технологические параметры уплотняемого металлического порошка с использованием характеристик процесса уплотнения. На основе

закона сохранения массы получена формула определения текущей пористости порошка.

Для определения угла внутреннего трения и коэффициента сцепления между частицами порошка, характеризующих его механические свойства, разработаны методы определения истинных характеристик деформации неспеченных порошковых материалов.

В пятой главе процесс прессования порошкового образца в жесткой цилиндрической матрице был моделирован в автоматизированной программной среде «ABAQUS», получены все компоненты его напряженно-деформированного состояния.

Размерные результаты компьютерного моделирования были сравнены с соответствующими данными решения задачи, полученной аналитическим способом.

Анализ этих результатов показал, что допущения, сделанные при аналитическом способе решения задачи о равенстве окружных и радиальных напряжений, а также о постоянстве всех компонентов по поперечным сечениям, имеют достаточно высокую точность.

**MARTIN ARZUMANYAN GALERIK
INVESTIGATING THE STRESS-STRAIN STATES
IN THE COMPRESSION PROCESSES OF
METALLIC POWDER BLANKS
SUMMARY**

In the sphere of machine building, machine parts made of powder materials obtained by the methods of powder metallurgy are widely used. The dissertation is devoted to the investigation of the starting stage of the manufacturing method – the cold extrusion of metal powders in different moulds which is rather complicated and not studied enough, and therefore these investigations are urgent.

The goal of the work is to investigate the stress-strain states of non-sintered metallic powder blanks to increase the quality and efficiency of the issued products.

In the Introduction, the urgency of the subject is substantiated, and the goal of the investigation is introduced. To achieve the latter, the following tasks are set and solved, including: the investigation methods, the scientific novelty, the practical value, the implementation of the investigation results and the main statements of the dissertation to be defended.

In Chapter one, the peculiarities of the investigation methods for the plastic deformation process of sintered and non-sintered powder materials are discussed. The powder material extrusion is considered as a deformation process of compressed bodies whose plastic peculiarities are mainly determined by the magnitude of the porous medium density. This allows to use the methods of the continuous medium for studying the deformation processes of non-sintered powder materials.

The Mohr-Coulomb and Drucker-Prager plasticity conditions for non-sintered powder materials are analyzed.

In Chapter two, based on the Mohr circle in the system of the axes formed by the tangential and normal stress components of inclined platforms, and the diagram of the

straight line of the Mohr-Coulomb plasticity condition touching the mentioned circle, the Mohr-Coulomb plasticity condition expressed by the main stresses is substantiated by means of simple theoretical transformations.

By studying different stress states, the generalized nature of the Mohr-Coulomb and Drucker-Prager plasticity conditions of non-sintered powder materials is proved. From these generalized conditions, the Tresca – Sen-Venan and Huber-Mises plasticity conditions of continuous materials are obtained.

In Chapter three, the stress state and its boundary case of a thick-walled hollow sphere made of non-sintered metallic powder materials loaded by an external pressure is analyzed.

Numerical calculations for the radial and longitude stresses, as well as the pressure corresponding to the boundary pressure have been carried out in the Mathcad software environment for different values of the internal contact angle ρ between the powder grains, and the particular role of ρ in the plastic deformation process of the non-sintered metallic powder material has been shown.

In case of its decrease the stress state components, as well as the values of the boundary pressure of the thick-walled hollow sphere increase. In a particular case, when $\rho \rightarrow 0$, the task data of the hollow sphere of continuous material are obtained.

In Chapter four, the stress state of the non-sintered powder sample compression process in the rigid cylindrical die based on the Drucker-Prager and Mohr-Coulomb plasticity conditions has been investigated. The problem has been solved in case there is a contact friction between the powder sample and the die, using the method of thin sections. Theoretical formulae having no dimension for determining the axial and lateral pressures have been obtained. Their numerical data obtained in the Mathcad software environment have allowed to estimate the coincidence degrees of the inhomogeneous deformation of the die-high blank and the data calculated by different conditions of plasticity, as well as to compare the coefficient values of the lateral pressure $c = p_r/p_z$ with the already known experimental data.

By using the characteristics of the powder material extrusion process, the technological parameters of the metallic powder compression have been determined. Based on the mass conservation law, the formula for determining the current porosity of the powder material has been obtained.

To determine the friction angle between the powder grains characterizing the mechanical properties of powder materials, the methods for determining the real characteristics of non-sintered powder materials have been developed.

In Chapter five, the compression process of non-sintered metallic powder sample in the rigid cylindrical die has been modeled in the ABAQUS automated software environment and a numerical calculation of dimensional values has been carried out by the formulae having no dimension obtained by an analytical method. The obtained results are compared.

Based on the modeling data, all the components of its stress-strain state have been obtained whose analysis has shown that in the analytical method for solving the problem, the conditions of the circular and radial stress equality and all the components of the stress-strain state stability in the cross section are quite accurate.