

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Zita DREIJA

**CILINDRISKO DETAĻU MEZGLU AR UZSPĪLĒJUMU
SALIKŠANAS TEHNOĻOGISKĀ
PROCESA IZPĒTE**

Promocijas darba kopsavilkums

Nozare: Mašīnzinātne
Apakšnozare: Mašīnbūves tehnoloģija

Rīga 2012

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Transporta un mašīnzinību fakultāte

Mašīnbūves tehnoloģijas institūts

Zita DREIJA

Doktora studiju programmas "Aparātu inženierija" doktorante

**CILINDRISKO DETAĻU MEZGLU AR UZSPĪLĒJUMU
SALIKŠANAS TEHNOĻOGISKĀ
PROCESA IZPĒTE**

Promocijas darba kopsavilkums

Nozare: Mašīnzinātne

Apakšnozare: Mašīnbūves tehnoloģija

Zinātniskais vadītājs
Dr. sc. ing., asoc profesors
Fr.SUDNIEKS

Zinātniskais konsultants
Dr. sc. ing., profesors
O.LINIŠ

Rīga 2012

UDK 681.2+621.717](043.2)
Dr285 c

Dreija Z. Cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu
salikšanas tehnoloģiskā procesa izpēte.
Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU, 2012.-26 lpp.

Iespiests saskaņā ar MTI institūta 2011. gada
12. aprīļa lēmumu, protokols Nr.4/11.

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA
GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012.g.
..... Rīgas Tehniskās universitātes Transporta un mašīnzinību fakultātē,
Ezermalas ielā 6, 405. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.sc.ing. Eduard Ševtšenko (Eduard Shevtshenko)
Tallinas tehniskā universitāte, Igaunija

Profesors, Dr.sc.ing. Gunārs Vērdiņš
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Profesors, Dr.sc.ing. Juris Krizbergs
Rīgas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Zita Dreija(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 6 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu ar 94 nosaukumiem, 61 attēlu, 8 tabulas, kopā 124 lappuses.

SATURS

PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĒJAIS RAKSTUROJUMS.....	5
Tēmas aktualitāte.....	5
Darba mērķis un uzdevumi	5
Pētījuma metodes	6
Zinātniskā novitāte	6
Praktiskais pielietojums.....	7
Aizstāvēšanai izvirzītie pētījuma rezultāti	7
Darba aprobācija	7
Publikācijas	7
Promocijas darba struktūra un apjoms	8
PROMOCIJAS DARBA SATURS	8
Ievads	8
1.nodaļa LITERATŪRAS APSKATS.....	8
2.nodaļa DETAĻU BĀZĒŠANA AUTOMĀTISKĀ SALIKŠANĀ.....	9
3.nodaļa AUTOMĀTISKĀS SALIKŠANAS TEHNOĻOĢISKĀ PROCESA PRECIZITĀTES NOTEIKŠANA.....	11
4.nodaļa CILINDRISKO DETAĻU MEZGLU AR UZSPĪLĒJUMU ĪPAŠĪBU IETKEME UZ SALIKŠANU	14
5.nodaļa CILINDRISKO DETAĻU MEZGLU AR UZSPĪLĒJUMU IZTURĪBAS NODROŠINĀŠANA	14
5.1.Cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu spriegumu un deformāciju noteikšana	14
5.2.Cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metodes izstrādāšana balstoties uz 3D normālo gadījuma lauka teoriju	16
5.3.Cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metode un piemērs .	19
5.4. Kontakta virsmu raupjuma parametru Ra un Sm ietekmes izpēte uz uzspīlējuma lielumu un slodzi kontaktā	21
6.nodaļa CILINDRISKO DETAĻU MEZGLU AR UZSPĪLĒJUMU SALIKŠANAS RASKTUROJOŠO PARAMETRU EKSPERIMENTĀLĀ PĒTĪŠANA	22
SECINĀJUMI	24
LITERATŪRA	26

PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĒJAIS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu salikšana ar iepresēšanu iekārtu ražošanā ir bieži pielietojamais detaļu salikšanas veids un tas sastāda aptuveni 35% no kopējā detaļu salikšanas apjoma. Mašīnbūves un metālapstrādes tehnoloģiju attīstība un it īpaši prasība pēc augstākas detaļu izgatavošanas precizitātes mašīnbūves nozarēs nodrošina šo savienojumu arvien lielāku pielietojumu. Šādu cilindrisko savienojumu salikšanas kustības trajektorija ir samērā vienkārša. Tas dod iespēju šos savienojumus iegūt salikšanas automātos.

Lai salikšanas procesā iegūtu cilindrisko detaļu salāgojumu ar prasīto kvalitāti, viens no darbietilpīgākajiem salikšanas procesa posmiem salikšanas automātos ir pareizas saliekamo detaļu orientēšanas un bāzēšanas salikšanas pozīcijā nodrošināšana. Pētījumus par saliekamo cilindrisko detaļu savstarpējās orientācijas precizitāti un salikšanas tehnoloģiskā procesa realizēšanas drošumu ir veikuši vairāki autori: A. Rabinovičs, K. Muceniek, Fr. Sudnieks, A. Malovs, V. Kosilovs, M. Novikovs. N. Gusejnova. Pētījumi rāda, ka iepresēšana ar vibrāciju impulsu iedarbību paaugstina savienojumu stiprību salīdzinājumā ar parasta veida iepresēšanu (presē). Tomēr šis veids ir mazāk efektīvs, sakarā ar salāgojamo detaļu virsmas raupjuma samazināšanos detaļu presēšanas laikā. Literatūras analīze rāda, ka neskatoties uz jau esošiem pētījumiem, ir nepietiekami izpētīts cilindrisko detaļu savienojumu ar uzspīlējumu automātiskās salikšanas nosacījums, kas paredz detaļu pieļaujamo novirzi salikšanā. Aplūkotajos darbos nav ņemti vērā virsmas raupjuma parametri: Ra un Sm, kas būtiski ietekmē salikšanas procesu.

Lai projektētu salikšanas automātu presētiem savienojumiem, nepieciešams zināt iepresēšanai nepieciešamā spēka lielumu. Detaļu ar uzspīlējumu salikšanas nodrošināšanai presējot nepieciešama presēšanas spēka rezerve. Pašreiz presēšanas spēka lieluma noteikšana saistīta ar grūtībām, jo tā ietver vairāku parametru noteikšanu, kam ir sarežģīts gadījuma raksturs. Piemēram, berzes koeficienta un saliekamo detaļu virsmas raupjuma parametru izmaiņas presēšanas procesā, kā arī kontakta slodzes noteikšana, kas atkarīga no uzspīlējuma. Pašreizējā presēto savienojumu sēžas ar uzspīlējumu aprēķina metode nav pietiekami precīza, ņemot vērā, ka cilindriskās detaļas ir telpisks objekts, tādēļ jādefinē reālajām virsmām atbilstoši raupjuma parametri. Lai raksturotu virsmas profila raupjumu, nepietiek ar vienu parametru Ra. Prasību pēc precīzākas aprēķinu metodes veicina mašīnbūves attīstība un progress, kas prasa izgatavot arvien precīzākas iekārtas, ilgtspējīgi noturīgus detaļu mezglus ar lielu izturību.

Augstāk aplūkotie apstākļi ir par pamatu turpmākiem cilindrisko detaļu savienojumu ar uzspīlējumu salikšanas procesa automātiskajās iekārtās pētījumiem. Jaunas un pilnveidotas cilindrisko detaļu savienojumu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metodes un savienojuma izturības prognozēšanas metodes izstrādāšana tiek uzskatīta par aktuālu.

Darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir veikt cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu automātiskās salikšanas tehnoloģiskā procesa un detaļu parametru ietekmes uz saliekamo detaļu kontaktu un tā raksturojošiem lielumiem izpēti. Un uz tās pamata izstrādāt cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķina metodi.

Mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- 1) Noteikt automātiskai salikšanai paredzēto cilindrisko detaļu asu savstarpējā novietojuma pieļaujamo kļūdu salikšanas pozīcijā, lai nodrošinātu nepieciešamo bāzēšanas shēmas izvēli.
- 2) Veikt detaļu ģeometrisko parametru un detaļu kontakta virsmu raupjuma parametru ietekmes izpēti uz cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu izturību un uz salikšanas procesu.

- 3) Izstrādāt savienojuma ar uzspīlējumu izturības noteikšanas matemātisko modeli.
- 4) Izstrādāt cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metodi, izmantojot kontakta virsmu aprakstam 3D normālo gadījuma lauka teoriju.
- 5) Veikt kontaktējošo virsmu raupjuma parametru R_a un S_m ietekmes izpēti uz uzspīlējuma lielumu un slodzi kontaktā.
- 6) Veikt teorijas eksperimentālo pārbaudi un novērtēt teorijas un prakses atbilstību. Salīdzināt eksperimentā iegūto uzspīlējumu ar aprēķināto, pēc izstrādātās salāgojuma sēžas ar uzspīlējuma inženieraprēķinu metodes, un dot secinājumus.

Pētījuma metodes

- 1) Presēto savienojumu spriegumu un deformāciju noteikšanai izmantota automatizētās projektēšanas sistēma - programma Solidworks Simulation Premium 2010 (galīgo elementu metode).
- 2) Eksperimentā, mikrotopogrāfiskā virsmas raupjuma parametru noteikšanai, izmantota Taylor Hobson virsmas mērīšanas Taylor Hobson Form Talysurf Intra 50 ierīce ar kuras palīdzību virsmas raupjumu var aplūkot kā 3D modeli. Iegūtie dati apstrādāti programmā TalyMap Expert.
- 3) Eksperimentā detaļu presēšana veikta ar 4 T hidraulisko presi. Salāgojuma izturības eksperiments veikts pēc montāžas ~ 24 stundām uz elektromehāniskas detaļu statiskās slodzes testēšanas iekārtas ZwickZ100, ar maksimālo slodzi līdz 100 kN.

Zinātniskā novitāte

Cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu salikšanas procesu pētījumu rezultātā noteikta detaļu asu savstarpējā novietojuma pieļaujamā kļūda salikšanas pozīcijā, kas nodrošina precizitātei nepieciešamo bāzēšanas shēmas izvēli un savienojuma precizitātes sasniegšanas metodes izvēli.

Izstrādāts cilindrisko detaļu ar uzspīlējumu kontakta izturības noteikšanas matemātiskais modelis, kas dod iespēju noteikt pieļaujamo ārējo spēku, kas praksē lielākoties uz savienojumu vērsts ekscentriski. Cilindrisko detaļu kontakta spriegumu un deformāciju noteikšana ļauj realizēt kontakta raksturojošo parametru izpēti un prognozēt savienojuma kalpošanu jau tā projektēšanas stadijā.

Izstrādāts cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu kontakta modelis, izmantojot virsmu aprakstam 3D normālo gadījuma lauka teoriju. Noteikts, ka no virsmu raupjuma standartizētajiem parametriem uzspīlējuma lielumu un slodzi kontaktā ietekmē R_a un S_m .

Balstoties uz 3D kontakta modeli, izstrādāta jauna cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķina metode. Metodē iekļauta virsmas raupjuma parametru R_a un S_m attiecība. Tas dod iespēju iegūt precīzākus un reālajiem apstākļiem tuvākus aprēķina rezultātus salīdzinājumā ar S. P. Timošenko izstrādāto metodi.

Izstrādātā cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķina metode dod iespēju noteikt salāgojamo detaļu kontaktējošo virsmu tuvinājumu un tā izmaiņas pie kontakta slodzes atkarībā no virsmu raupjuma parametriem R_a un S_m .

Iegūtie rezultāti ļauj aplūkot jaunā aspektā cilindrisko detaļu ar uzspīlējumu presēto savienojumu kontaktu. Tas ir par pamatu tālākajiem cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu saistītiem pētījumiem.

Praktiskais pielietojums

Promocijas darbā iegūtie salikšanas procesa pētījuma rezultāti un izstrādātā cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metode var būt noderīga mašīnbūves ražošanas speciālistiem, kuri nodarbojas ar salikšanas procesa tehnoloģijas izstrādāšanu un iekārtu projektēšanu konkrētā ražotnē.

Dotā inženieraprēķinu metode izstrādāta balstoties uz divu raupju virsmu 3D normālā gadījuma lauka teorijas kontakta modeli, kas ļauj jaunā aspektā aplūkot presēto savienojumu ar uzspīlējumu kontaktēšanās procesu, definējot reālajai virsmai atbilstošus raupjuma parametrus. Izmantojot izstrādātās sakarības, var noteikt precīzāk presēšanai vajadzīgo spēku un virsmas raupjuma parametrus salāgojumam pie konkrētiem apstākļiem, ko apstiprina eksperimentā iegūtie rezultāti. Iespējams noteikt nepieciešamo virsmas raupjuma parametru Ra un Sm attiecību, kas nav iekļauta iepriekš zināmās salāgojuma sēžas ar uzspīlējumu aprēķina metodēs.

Aizstāvēšanai izvirzītie pētījuma rezultāti

- 1) Automātiskai salikšanai paredzēto cilindrisko detaļu asu savstarpējā novietojuma pieļaujamās kļūdas salikšanas pozīcijā noteikšana.
- 2) Cilindrisko detaļu kontakta virsmu raupjuma parametru ietekmes izpēte uz cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu izturību un uz salikšanas procesu.
- 3) Detaļu mezglu ar uzspīlējumu kontakta raksturojošo parametru izpēte izmantojot divu raupju virsmu 3D normālā gadījuma lauka teoriju.
- 4) Cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metode balstoties uz 3D kontakta modeli.

Darba aprobācija

Par promocijas darba galvenajiem atzinumiem un rezultātiem sniegti ziņojumi, kas saņēmuši pozitīvus vērtējumus, sekojošās konferencēs.

- 50.Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Masschinenbau von Makro bis Nano, Germany, Ilmenau, 50.IWK, 2005.gada 19.-23. septembris;
- 5th International Conference of DAAAM Baltic Industrial Engineering, Estonia, Tallin, 2006.gada 20.-22.aprīlis;
- MSM2005 Conference of Mechatronic and materials, Lithuanina, Vilnius, 2005.gada 20.-23. oktobris;
- RTU 48.Starptautiskā zinātniskajā konferencē, Rīga, 2007.gads.

Publikācijas

Par veikto pētījumu rezultātiem un izstrādāšanu ir nopublicēti 7 zinātniskie raksti:

- 1) Dreija Z., Sudnieks Fr., Lininsh O. Deformation of parts with thin walls in assembly process// In: Proceedings of the 50.Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, ISBN 3-932633-98-9.- Ilmenau, 2005.-September 19-23, 539.-541. p.

- 2) Dreija Z., Lininsh O., Sudnieks Fr., Mozga N. Friction force and stresses analysis for contact of the assembled details// Solid state phenomena, ISSN 1012-0394.-Vilnius, MSM 2005, Volume 113 (2006), 334.-338. p.
- 3) Dreija Z., Liniņš O. Determination of stresses and deformations for the details assembled by interference fit// RTU zinātniskie raksti. Mašīnzinātne un transports, ISSN 1407-8015.-Rīga: RTU, 2005.-6.sērija-19.sējums, 64.-70. lpp.
- 4) Dreija Z., Lininsh O., Sudnieks Fr. Influence of friction force and stresses on compression joint// In: Proceedings of IIE Annual Conferenc. - Orlando, Florid, 2006.-27.-32. p. (CD-ROM).
- 5) Dreija Z., Lininsh O. Accuracy guaranteeing of details assembly by interference fit// In: Proceedings of KOD Design, Serbia & Montenegro, ISBN 86-85211-92-1.- 2006.- 97.-101. p.
- 6) Dreija Z., Lininsh O., Mozga N. Design technique for press fit joint assembly// In: Proceedings of the 5th International Conference of DAAAM, ISBN 9985-894-92-8.- Tallin, Estonia, 2006.- 117.-121. p.
- 7) Dreija Z., Liniņš O. Strength ensuring of press fit joints// RTU zinātniskie raksti. Mašīnzinātne un transports, ISSN 1407-8015.-Rīga: RTU, 2007.-6.sērija-22.sējums, 63.-68. lpp.

Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 6 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu ar 94 nosaukumiem, 61 attēlu, 8 tabulas, kopā 124 lappuses.

PROMOCIJAS DARBA SATURS

Ievads

Ievadā pamatota promocijas darba tēmas aktualitāte un praktiskais pielietojums. Formulēti mērķi un uzdevumi, kā arī atzinumi.

1.nodaļa LITERATŪRAS APSKATS

Veikts literatūras apskats, kas ietver:

- automātiskās salikšanas priekšrocības un automātiskās salikšanas ieviešanu ražošanā analīzi;
- automātiskās salikšanas tehnoloģiskā procesa izstrādāšanas metodes apskatu;
- detaļu mezglu ar uzspīlējumu salikšanas īpatnības;
- galvenos pētījumā risināmos uzdevumus.

Salikšanas procesu automatizācija palielina darba ražīgumu un attiecīgi samazina salikšanas darbietilpīgumu. Tāda situācija, kad pie ātriem apstrādes automatizācijas tempiem salikšanas darbietilpīgums palielinās, nevar ilgi pastāvēt, vai arī, ievērojami paplašinot izstrādājumu ražošanu, var būtiski pieaugt montētāju skaits. Daudzos gadījumos, it īpaši, saliekot mazgabarīta izstrādājumus, automātiskās salikšanas iekārtas aizņem mazāk vietas nekā montētāju darba galdi, izpildot to pašu procesu manuāli. Kā priekšrocība ir ievērojama saliekamo izstrādājumu kvalitātes paaugstināšanās, tādējādi, ka vairākums saliekamo automātu var strādāt tikai tad, ja uz salikšanu nonāk kvalitatīvas detaļas. Tādā veidā tiek nodrošināta stabilāka saliekamo izstrādājumu kvalitāte. Neskatoties uz priekšrocībām un darba ražīguma paaugstināšanas rādītājiem, salikšanas procesi, salīdzinājumā ar citiem tehnoloģiskiem procesiem, ir automatizēti vismazāk.

Galvenokārt salikšanas tehnoloģiskā procesa automatizācijas teorijas daļa satur jautājumus par salikšanas tehnoloģiskā procesa realizēšanas drošumu un saliekamo detaļu savstarpējās orientācijas precizitāti, jo no to atrisināšanas ir atkarīga salikšanas procesa automatizācijas iespēja vispār un tās lietderīgums. Šo jautājumu risināšanai ir veltīti A. Gavrilova, P. Bulovska, B. Balakšina, B. Korsakova, A. Malova, M. Novikova, A. Rabinoviča, K. Mucenieka, Fr. Sudnieka, N. Mozgas un citu autoru pētījumi.

Tehnoloģiskā procesa izstrādāšanas metode automatizētajā ražošanā ietver sekojošus etapus:

- produkta tehnoloģiskuma analīzi, ņemot vērā tā izlaides apjomu un īpatnības automatizētai apstrādei;
- mehanizāciju un automatizāciju visām darba un palīg kustībām apstrādes procesā;
- saliekamā izstrādājuma precizitātes nodrošināšanas metodes;
- bāzēšanas shēmas izvēli;
- salikšanas nosacījumu noteikšanu;
- detaļu asu savstarpējo orientāciju telpā.

Konstrukcijas tehnoloģiskuma jēdziens automātiskajā salikšanā aptver kā visa mezgla vai izstrādājuma konstrukciju, tā arī atsevišķu detaļu konstruktīvās īpatnības, kas nosaka to piemērotību automātiskajai orientēšanai, padevei un novietošanai uz bāzes detaļas. Vienlaicīgi nākas risināt jautājumus par mašīnu, iekārtu un to mezglu tehnoloģiskumu, automātiskā aprīkojuma vienkāršošanu. Konstrukcijas tehnoloģiskuma uzlabošanas iespējas salikšanā pietiekami detalizēti aprakstījuši A. Gavrilovs, I. Pavlovs, A. Paknis, V. Ivanovs, V. Smiļanskis, analizējot ievērojamu daudzumu aparātu mezglu konstrukcijas, kurās savienojumus sastiprina ar dažādām metodēm. Kā norāda P. Bulovskis, uzlabojot saliekamo elementu konstrukcijas tehnoloģiskumu, uzlabojas arī dažādi salikšanas procesa rādītāji. Kā par pozitīvu piemēru var minēt detaļu skaita samazināšanos mezglā (izstrādājumā), kas savukārt ļauj samazināt operāciju skaitu, vienkāršot procesu, novērst (pilnīgi vai daļēji) papildus mehāniskās apstrādes operācijas pie salikšanas. Pie tam tehnoloģiska konstrukcija rada salikšanas kvalitātes un savienojuma precizitātes paaugstināšanos.

Pētījuma izstrādes laikā, konstatēts, ka pieejamos zinātniskajos darbos nav pietiekami izpētīti cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu automātiskās salikšanas nosacījums $\delta_{\Sigma} \leq \varepsilon_{piel}$. Cilindrisko detaļu asu savstarpējās orientācijas salikšanas pozīcijā nodrošināšanas metodes automātiskajās iekārtās mazāk efektīvas sakarā ar salāgojamo detaļu virsmas profila raupjuma samazināšanos detaļu presēšanas laikā. Aplūkotajos darbos nav ņemti vērā virsmas raupjuma parametri: Ra un Sm, kas būtiski ietekmē salikšanas procesu.

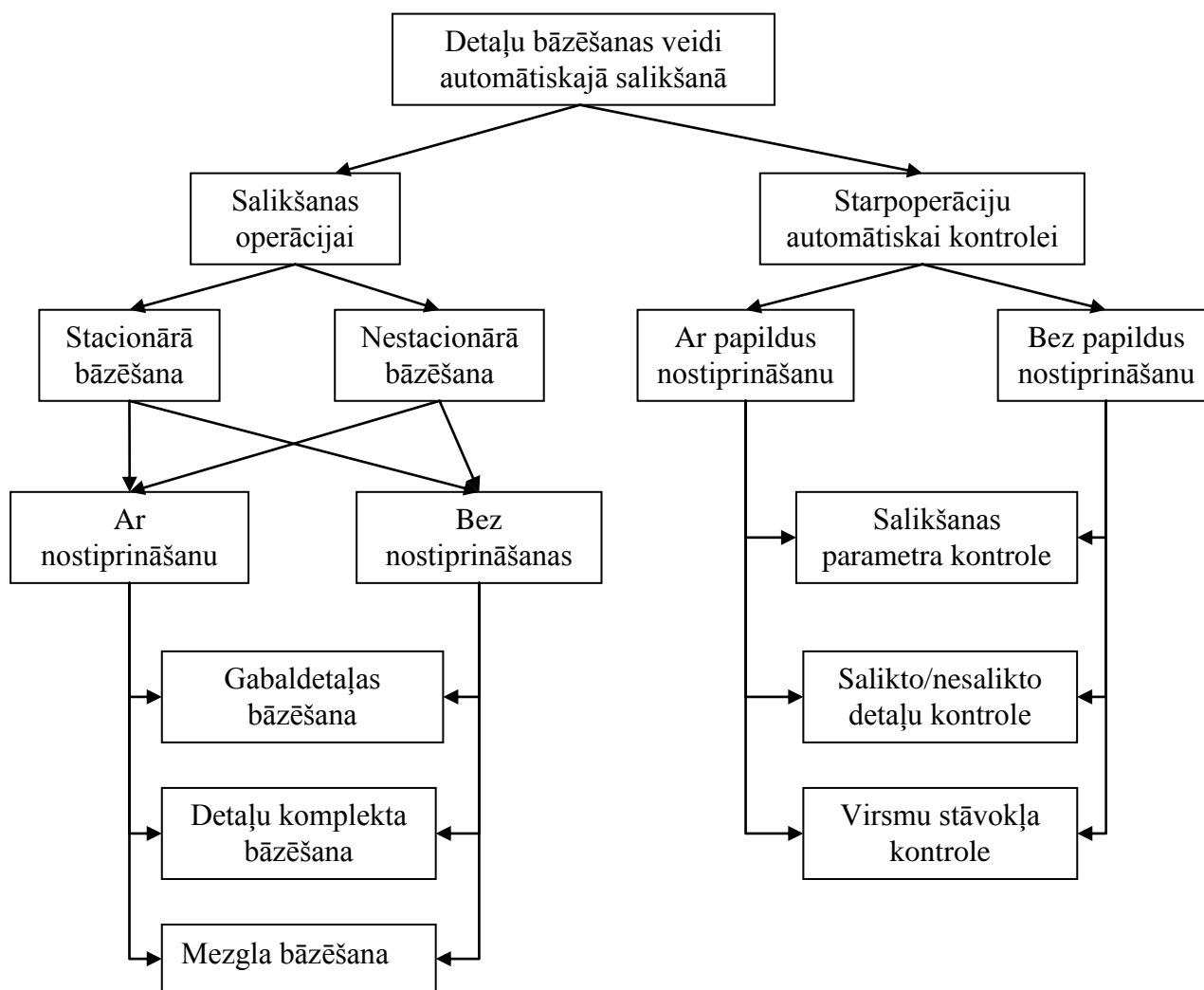
Sēžas ar uzspīlējumu aprēķina metodē (S. P. Timošenko) iekļauts viens no virsmas raupjuma parametriem Ra, lai gan cilindrisku detaļu kontakts ir telpisks objekts un to jāaplūko ar 3D virsmas raupjuma parametriem. Tāpēc darba tālākās nodaļas veltītas salikšanas tehnoloģiskā procesa un saliekamo detaļu kontakta parametru pētījumiem.

Literatūras apskats ļauj formulēt promocijas darba galvenos uzdevumus, kuri minēti iepriekš (skat. zem sadaļas „Darba mērķis un uzdevumi”).

2.nodaļa DETAĻU BĀZĒŠANA AUTOMĀTISKĀ SALIKŠANĀ

Detaļu bāzēšana - tas ir viens no detaļu orientēšanas etapiem automātiskajā salikšanā. Sagatavošanās bāzēšanai var notikt pagaidu, vai starp orientācijas kustību rezultātā, kurām ir raksturīgi detaļu lineārie, plakaniskie vai telpiskie pārvietojumi. Dažos gadījumos bāzēšana var notikt bez starp orientācijas. Tomēr tādas novirzes no kopējās shēmas ir izskatāmas kā īpaši gadījumi.

Bāzēšana automātiskā salikšanā (2.1. att.) ir stipri līdzīga detaļu bāzēšanai mehāniskās apstrādes laikā, tomēr tai ir sava specifika. Jo īpaši specifiski ir bāzēšanas veidi. Automātiskā salikšanā bāzēšana var būt stacionāra un nestacionāra. Bez tam, bāzēšanu panāk automātisku kustību rezultātā un vairumā gadījumu tās ir bez ievērojamiem detaļu nostiprināšanas spēkiem. Dažos gadījumos detaļu nevajag nostiprināt, pietiek tikai ar detaļas novietošanu bāzēšanas pozīcijā. Automātiskā salikšanā bāzēšana ir arī atkarīga no detaļu salikšanas veida: pamat detaļas bāzējas izejot no to nekustīgiem nosacījumiem, komplektējošās detaļas bāzējas savādāk- izejot no to kustīguma attiecīgai orientācijai.



2.1. att. Automātiskās salikšanas detaļu bāzēšanas klasifikācijas shēma

No bāzēšanas shēmas izvēles ir atkarīga dotā savienojuma salikšanas precizitāte un kvalitāte, automātiskās salikšanas aprīkojuma sarežģītība un darbība, kā arī izveidotās sistēmas ekonomiskie rādītāji.

Promocijas darbā piedāvāti piemērotākie cilindrisko detaļu bāzēšanas un fiksācijas paņēmieni automātiskajās salikšanas līnijās.

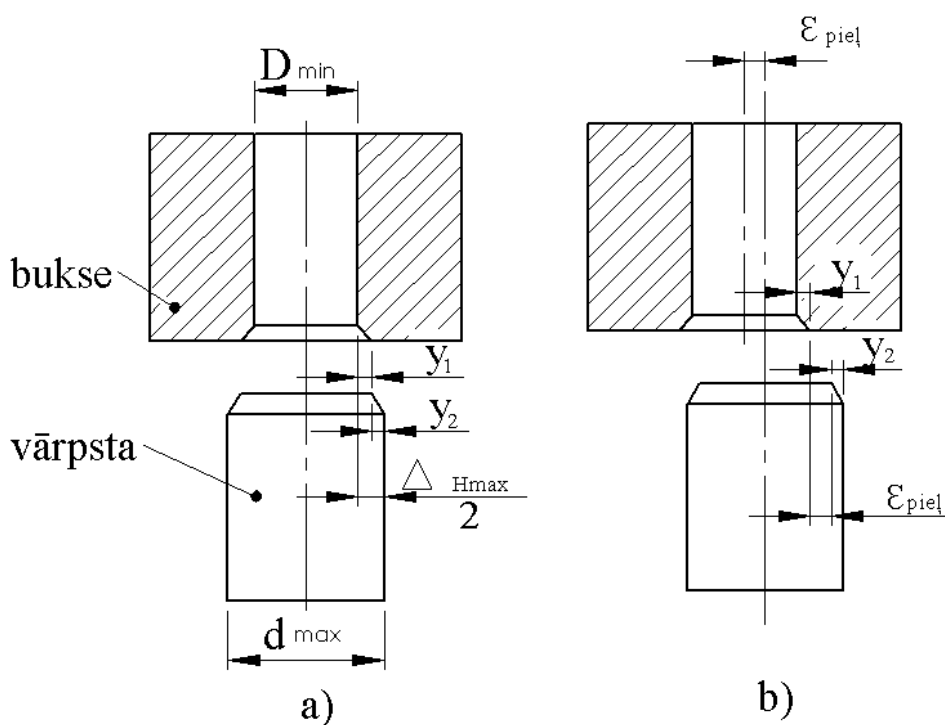
Dažādu tehnoloģisko faktoru analīze, kuri ietekmē salikšanas procesa izpildes drošumu automātiskajās iekārtās, dod iespēju noteikt galvenos drošuma paaugstināšanas ceļus, konkrēti, veidojot produkta konstrukciju, kura ir tehnoloģiska dotam salikšanas procesam.

3.nodaļa AUTOMĀTISKĀS SALIKŠANAS TEHNOĻIŠKĀ PROCESA PRECIZITĀTES NOTEIKŠANA

Trešajā nodaļā cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu salikšanas procesu pētījumu rezultātā noteikta detaļu asu savstarpējā novietojuma salikšanas pozīcijā pieļaujamā kļūda, kas nodrošina precizitātei nepieciešamo bāzēšanas shēmas izvēli un savienojuma precizitātes sasniegšanas metodes izvēli.

Izstrādāta automatizēto salikšanas procesu precizitātes noteikšana balstoties uz N. Borodačeva darbiem par izmēru un kinemātisko ķēžu pielaižu un kļūdu noteikšanu, P. Dunajeva par izmēru ķēžu aprēķina metodiku, kā arī citu autoru darbiem, veltītiem atsevišķu detaļu salikšanas tehnoloģiskā procesa precizitātes noteikšanai. Iegūtais automatiskās salikšanas procesa precizitātes aprēķins sastāv no vairākiem etapiem, no saliekamo detaļu asu savstarpējā novietojuma salikšanas pozīcijā summārās kļūdas δ_{Σ} noteikšanas pirms to savienošanas, un tās salīdzināšanu ar pieļaujamo lielumu. Galvenās metodes, kas nodrošina δ_{Σ} samazināšanos, ir konstruktīvās un tehnoloģiskās metodes, piemēram, automatiskās salikšanas iekārtas precīza noregulēšana, saliekamo detaļu atsevišķu elementu izgatavošanas precizitātes paaugstināšana, bāzēšanas shēmu racionāla izvēle.

Iegūtas izteiksmes cilindrisko detaļu asu savstarpējā novietojuma salikšanas pozīcijā pieļaujamās kļūdas noteikšanai, kur automatiskajā salikšanā automāts saliks detaļas tikai tadā gadījumā, kad salikšanas automāts kopā ar saliekamajām detaļām veidos tādu izmēru ķēdi, kurā atstatums starp detaļu asīm nepārsniedz pieļaujamo novirzi. Nekustīgs savienojums tiek nodrošināts, ja vārpstu un buksi iespējams salikt ar uzspīlējumu $\Delta_{H_{\max}}$ (3.1. a, b att.).



3.1. att. Savstarpējā asu novietojuma shēma vārpstai un buksei

Saliekamām cilindriskām detaļām ieteicams izveidot galos ieejas fāzītes. Fāzīšu minimālo izmēru y nosaka:

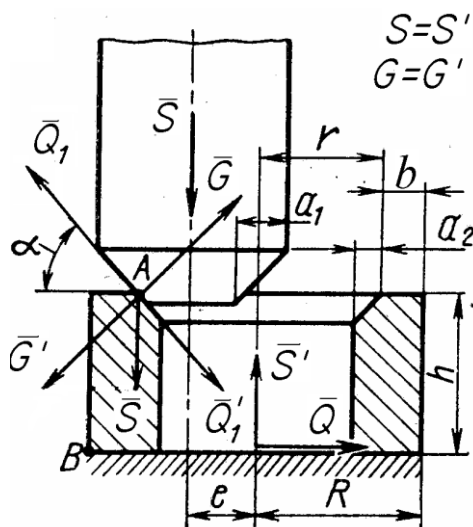
Jāņem vērā, ka vienādojums (3.5) ir patiess pie noteikuma, ka asu novietojums $e=O_1O_2$ nav lielāks kā a_1+a_2 summa, kur a_1 un a_2 - bukses un vārpstas fāzīšu lielumi.

Šādu shēmu var pielietot īso bukšu (disku) savstarpējai orientēšanai, kur apgāšanās bīstamība spēka \bar{G} iedarbībā izslēdzas. Pretēji tam, bukses apgāšanās notiek ap B punktu. Sastādot momentu līdzsvara vienādojumus, attiecīgajā punktā B, iegūsim, ka bukse nezaudēs stabilitāti, ja:

$$\frac{b}{h} \geq \frac{\operatorname{tg} \alpha - f_1}{1 + f_1 \operatorname{tg} \alpha} \quad (3.6)$$

kur: $b \leq R-r$ - bukses sienīņas biezums.

Ja formulā (3.6) ievietosim $\alpha = 45^\circ$, iegūsim $h \leq \frac{1+f_1}{1-f_1} b$. Sekojoši, gadījumā, kad $f_1=0$, nevienādībai jābūt $h \leq b = R-r$, vai arī bukses diametram jābūt divas reizes lielākam par tā augstumu. Pieņemot lielumu $f_1 = 1$, iegūsim $h \leq \frac{2+f_2}{f_2} b$. Ja lielumi f un f_1 nepārsniedz 0,3, tad iegūsim sakarību ar kļūdu ne vairāk kā 20%: $h \leq \frac{1}{f_2} b$.



3.2. att. Detaļu kontaktēšanās shēma pa fāzītēm.

Noskaidrots, ka spēks, kas nepieciešams detaļu orientēšanai vajadzīgā pozīcijā ir atkarīgs no berzes, kas veidojas starp detaļām kontakta punktā. Berzes koeficientu galvenokārt nosaka virsmas raupjums, kas berzes procesā izmainās. Bet salikšanas procesā mikronegludumu izmaiņas nav pieļaujamas, jo pasliktina turpmāko detaļu salikšanu un savienojuma izturību. Turklāt berzes spēkiem starp kontaktējošām virsmām jābūt minimāliem. Pēc J. Rudzīša pētījumiem [1; 3], no formulas (5.7) redzams, ka slodze starp virsmām atkarīga no Ra/Sm attiecības. Tas nozīmē, ka kontaktā svarīga loma nav virsmas raupjuma augstumam un solim atsevišķi, bet to attiecībai. Turklāt aprēķinos jāņem vērā materiāla elastības konstante E un μ .

4.nodaļa CILINDRISKO DETAĻU MEZGLU AR UZSPĪLĒJUMU ĪPAŠĪBU IETKEME UZ SALIKŠANU

Ceturtajā nodaļā pētīta presēšanas spēka un detaļu ģeometrisko parametru ietekme uz precīzu detaļu salikšanu ar uzspīlējumu. Kā rāda darba eksperimentālais pētījums, praksē iegūtie rezultāti ne vienmēr sakrīt ar aprēķinātajiem, ko ietekmē saliekamo detaļu virsmas raupjuma raksturlielumi un izgatavošanas kļūdas. Tādējādi aktuāla ir salikšanas metodes izveide savienojuma kontrolēšanai. Šajā nodaļā ir piedāvāta presēšanas sistēma salikšanas procesa kontrolēšanai, kas paredzēta automatiskajā ražošanā. Sistēma kontrolē presēšanas dziļumu, iepresēšanas spēku un tā raksturu presēšanas garumā. Secināts, ka salikšanas precizitātes nodrošināšanas procesa attīstība ir saistīta ar eksperimentālo datu iegūšanu un apstrādi. Eksperimentējot ar dažādiem presēšanas parametriem un korelējot ar presēšanas spēka - presēšanas garuma līknēm un produktu viengabalainību, var iegūt optimālos presētā savienojuma parametrus. Svarīgi ir kontrolēt nepieciešamo presēšanas spēku, lai garantētu nepieciešamo spēku robežu starp savienoto detaļu virsmām salikšanas procesā. Tādējādi iegūstot datus par vajadzīgo uzspīlējumu.

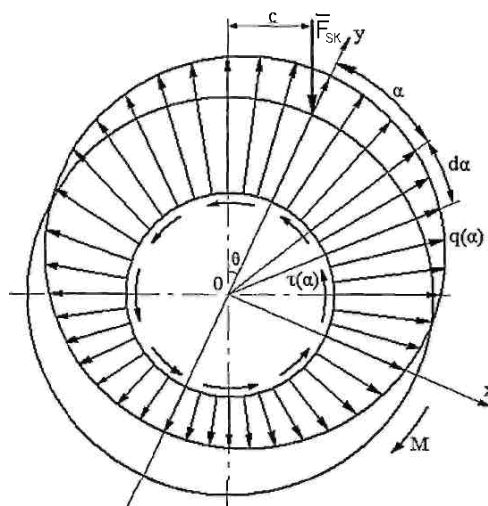
Detaļu spēja izturēt ievērojamas slodzes presētos savienojumos ir atkarīga no uzspīlējuma. Pašlaik, lai paaugstinātu savienojumu izturību un iekārtas darbības drošumu, sēžas ar uzspīlējumu aprēķins (S. P. Timošenko) notiek pēc lielākā pieļaujamā uzspīlējuma. Secināts, ka šāda salāgojuma rakstura aprēķina metode nav vēlama, un to apliecina šī darba eksperimentā iegūtie pētījuma rezultāti. Bieži aprēķinātais uzspīlējums ir ar lielu rezervi pie dotiem ārējiem spēkiem. Tādējādi tas ietekmē nelietderīga materiāla patēriņu, izvēloties detaļu ģeometriskos parametrus, lai nodrošinātu savienojuma prasīto izturību.

Pašreiz, lai aprēķinātu slodzi kontaktā atkarībā no uzspīlējuma, izmanto Lamas formulu, autors S. P. Timošenko [2]. Bet šīs formulas izmantošana prasa daudzas korekcijas, kas saistās ar dažādām savienojuma garuma un nominālā diametra attiecībām, aptveramās detaļas nevienādu spriegumu tās garumā, izgatavošanas kļūdām. Pieminētie faktori ietekmē reālo slodzi kontaktā lielumu. Secināts, ka patreizējos aprēķinos netiek ņemti vērā virsmas profila raupjuma standarta parametri R_a un S_m , kas ir svarīgi virsmas raupjuma profila raksturlielumi un raksturo raupju virsmu kontakta deformācijas veidu. Šie parametri nosaka arī vajadzīgā apstrādes veida izvēli. Precīzāku apstrādes tehnoloģiju parādīšanās mūsdienu ražošanā ļauj iegūt detaļas ar vēlamām virsmas raupjuma parametriem.

5.nodaļa CILINDRISKO DETAĻU MEZGLU AR UZSPĪLĒJUMU IZTURĪBAS NODROŠINĀŠANA

5.1.Cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu spriegumu un deformāciju noteikšana

Piektajā nodaļā ir izstrādāts cilindrisko detaļu kontakta ar uzspīlējumu izturības noteikšanas matemātiskais modelis. Izstrādāts izturības nosacījums pieļaujamam ārējam spēkam, kas darbojas uz detaļu kontaktu. Iegūta izteiksme pieļaujamā ārējā spēka noteikšanai, kas praksē lielākoties uz savienojumu vērsts ekscentriski. Lielākoties cilindriskie savienojumi, kas pārnēs vērpes momentu, izraisītam no kāda šķērsspēka F_{sk} (5.1. att.), noslogoti ekscentriski. Piemēram, tas sastopams griezes kustības pārnēsuma elementos (zobrata pārvados).



5.1. att. Ārējā spēka aprēķina shēma

Iegūta izteiksme, kas nosaka pieļaujamo F_{skp} lielumu ekscentriskam spēkam F_{sk} :

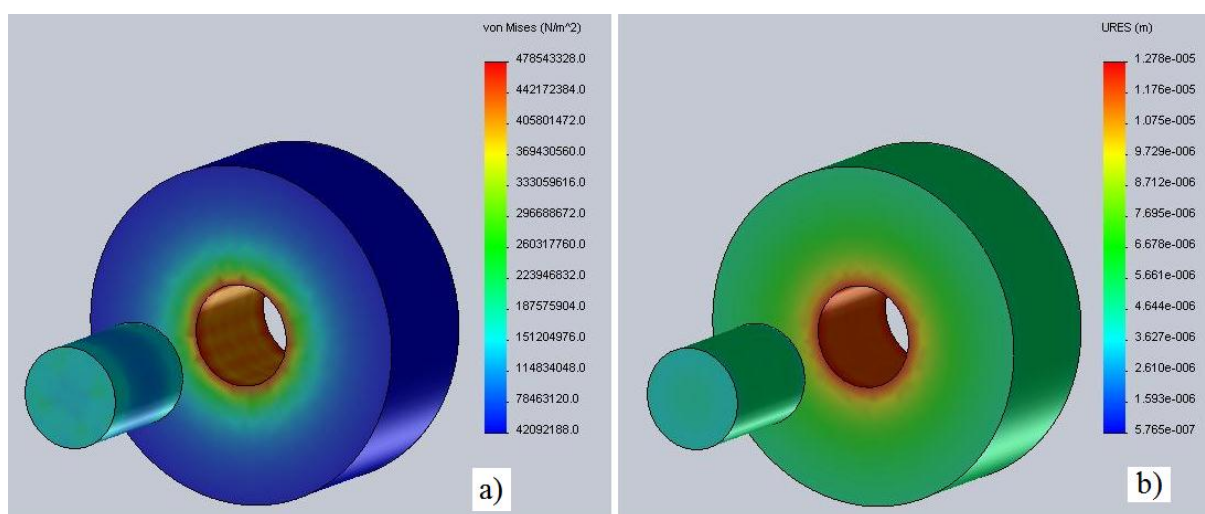
$$F_{skp} = \pi r l \sqrt{1 + f^2} ([p] - p_0), \quad (5.1)$$

kur: p_0 – slodze kontaktā pirms spēka F_{sk} pielikšanas;

$[p]$ -pieļaujamā slodze kontaktā;

f -berzes koeficients.

Cilindrisko detaļu kontakta spriegumu un deformāciju noteikšana ļauj realizēt kontaktā notiekošo procesu izpēti un prognozēt savienojuma kalpošanu jau tā projektēšanas stadijā. Ar SolidWorks Simulation Premium 2010 (galīgo elementu metode) programmas palīdzību noteikts salāgojamo detaļu spriegumu un deformāciju raksturs pie ideāliem apstākļiem, t.i., bez salikšanas un apstrādes kļūdām (5.2. att.). Neskatoties uz to, šī metode inženierim dod iespēju eksperimentēt ar detaļu ģeometriskiem izmēriem un izvēlēties tos, ņemot vērā materiālu, berzes koeficientu, slodzi cilindrisko detaļu virsmu kontaktā, uzspīlējumu un presēšanas spēku.



5.2. att. Cilindrisko detaļu sprieguma un deformāciju noteikšana:

a) summārā sprieguma izmaiņas; b) detaļu izmēru summārās izmaiņas

Viens no būtiskākiem lielumiem, kas raksturo nekustīgā savienojuma normālu funkcionēšanu ir virsmas raupjums, kas nosaka normālo un tangenciālo spriegumu sadalījumu kontakta laukuma robežās. Lai noteiktu šo parametru ietekmi uz saliekamo detaļu kontaktējošām virsmām ir izstrādāts cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu kontakta modelis, izmantojot 3D normālā gadījuma lauka teoriju. Katram mehāniskās apstrādes veidam un virsmas veidošanās procesam ir raksturīga sava virsmas raupjuma topogrāfija. Tā kā presēšanas process saistīts ar saliekamo detaļu virsmas raupjuma neregulāra rakstura izmaiņām visā presēšanas garumā un kontakta zonās, dotajā darbā ir apskatīts neregulāras raupjas virsmas modelis, kas atbilst normālam gadījuma raksturam. Noteikts, ka no virsmu raupjuma standartizētajiem parametriem savienojuma deformācijas veidu ietekmē Ra un Sm. Noteikts kritiskais detaļu tuvinājums, pie kura elastīgais kontakts pāriet elastīgi-plastiskā.

Lai noteiktu kura no cilindrisko detaļu kontakta virsmām deformējas vairāk, iegūta kontaktā deformētā materiāla tilpuma vidējās vērtības noteikšanas sakarība:

$$E\{V\} = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\gamma^2} - \gamma[1 - \Phi(\gamma)] \right\} \sigma^* A_c, \quad (5.2)$$

kur: A_c - kontakta kontūrlaukums;

$\gamma = u/\sigma$ -relatīvais deformācijas līmenis, līdz kuram tiek deformēta raupjā virsma, kur:

u - deformācijas līmenis, atskaitīts no raupjuma vidējās vērtības;

σ - kontaktējošās virsmas raupjuma vidējā kvadrātiskā novirze;

$$\Phi(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\gamma} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \text{ -Laplasa funkcija.}$$

Vairums gadījumos iekārtu projektēšanā būtiski ir paredzēt, kura no kontaktējošām detaļām pakļauta deformācijām vairāk. Tas dod iespēju izvēlēties salāgojuma detaļām atbilstošus materiālus un ģeometriskos parametrus, un kontaktējošo virsmu apstrādes veidu, lai iegūtu vēlamu salāgojumu ar nepieciešamo izturību pie konkrētiem ekspluatācijas apstākļiem.

5.2.Cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metodes izstrādāšana balstoties uz 3D normālo gadījuma lauka teoriju

Izmantojot virsmu aprakstam 3D normālo gadījuma lauka teoriju, izstrādāta jauna cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metode. Ar iegūtām sakarībām var noteikt precīzāk presēšanai vajadzīgo spēku un virsmas raupjuma parametrus savienojumam pie konkrētiem apstākļiem, ko apliecina eksperimentā iegūtie rezultāti. Iespējams noteikt nepieciešamo virsmas raupjuma parametru Ra/ Sm attiecību, ko raksturo slodze kontaktā. Tas netika iekļauts zināmajās sēžas aprēķina metodēs.

Iegūtie rezultāti ļauj jaunā aspektā aplūkot cilindrisko detaļu ar uzspīlējumu presēto savienojumu salikšanas procesu un ir par pamatu tālākajiem cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu saistītiem pētījumiem.

Pēc iepriekš pieņemtiem nosacījumiem atrasts spēka lielums, kas darbojas uz katru no kontaktējošo virsmu izciļņu virsotnēm. Nosacījumi: virsmas raupjuma izciļņu virsotnes ir diezgan blīvi un vienmērīgi izvietotas pa visu cilindrisko virsmu, tai sakarā radiālo slodzi uz kontakta virsmām, kas radusies pie salikšanas, aplūkosim kā vienmērīgi izvietotu radiālu slodzi; saliekamo detaļu kopējā deformācija ir elastīga un sekojoši, pakļaujas Lamas likumam; faktiskā kontakta zonās virsmas pakļautas elastīgi-plastiskām deformācijām; raupjas virsmas cietība ir lielāka nekā gludai virsmai, tādējādi veicot detaļas iepresēšanu ar uzspīlējumu, raupjuma izciļņu virsotnes deformējas elastīgi; uz kontaktu ārējo spēku iedarbība nav; virsotņu savstarpējā iedarbība ir nenozīmīga; virsmas formas novirzes nav un nominālās kontaktējošās virsmas visā kontaktēšanās laikā paliek savstarpēji paralēlas.

Ja izciļņu virsotņu augstumi, kas atrodas kontaktā ar gludo virsmu izvietoti n -tajos līmeņos, tad skaits, kas pieder spēka P_{ij} (5.3. att.) noteikšanai vienāds ar $\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n P_{ij}$, kur K_i - izciļņu skaits un tajā ietilpstošo virsotņu skaits, kas atrodas j -tā līmenī. P_{ij} - spēks, kas darbojas uz i -to izciļņu grupu j -tā līmenī.

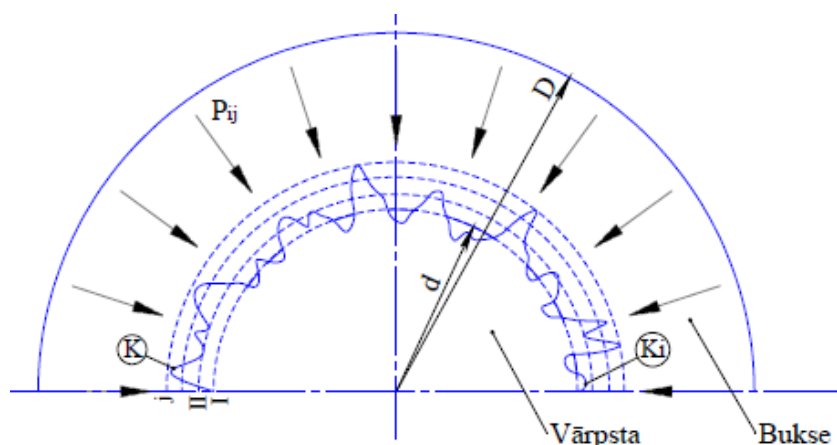
Vidējo slodzi kontaktā var noteikt sekojoši:

$$p_k = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n P_{ij}}{A_a} = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n P_{ij}}{\pi dl}, \quad (5.3)$$

kur: A_a - kontakta nomināllaukums;

d - salāgojuma nominālizmērs;

l - kontakta garums.



5.3. att. Cilindrisko detaļu raupjas (vārpsta) un gludas (bukse) virsmu kontakta shēma: I, II, j - izciļņu virsotņu kontaktēšanās līmeņi; K_1, K_2, \dots, K_i - izciļņu skaits, kas atrodas j -tā līmenī; P_{ij} - spēks, kas darbojas uz vienu i -to izciļni j -tā līmenī

Pēc iepresēšanas notiek izciļņu deformācija otras virsmas ietekmē, tā rezultātā sākotnējais uzspīlējums samazināsies par lielumu S . Pieņemot, ka sākotnējās nelīdzenumu deformācijas nav, tādējādi, ka nav slodzes uz kontaktējošām virsmām pirms to presēšanas, par atskaites punktu tiek ņemts $R_{max}=6\sigma$ raupjuma slāņa biezums. Rezultātā iegūts, ka tuvinājums ir:

$$S = (3 - \gamma)\sigma, \quad (5.4)$$

Maksimālo uzspīlējumu nosaka sekojoši:

$$\delta_{\max j} = \frac{cd}{A_a} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n P_{ij} + 2S, \quad (5.5)$$

kur $c = (C_1 / E_1 + C_2 / E_2) * k$;

kur: E_1 un E_2 - saliekamo detaļu materiāla elastības moduļi;

C_1 un C_2 - materiālu konstantes;

k - koeficients, kas ievēro slodzes kontaktā izmaiņas uz detaļas virsmas tās garenvirzienā.

Minimālo uzspīlējumu nosaka:

$$\delta_{\min j} = p_s d \times c + 2S, \quad (5.6)$$

kur: p_s - slodze uz savienojumu, darbojoties ārējiem spēkiem.

Promocijas darbā pierādīts, ka relatīvo deformācijas līmeni varam noteikt izmantojot [3] kontakta teoriju elastīgam kontaktam, saskaņā ar kuru kontakta relatīvo slodzi var izteikt sekojoši:

$$p_i = \frac{k_q^{el} Ra}{S_m \theta} F(\gamma), \gamma > 1 \quad (5.7)$$

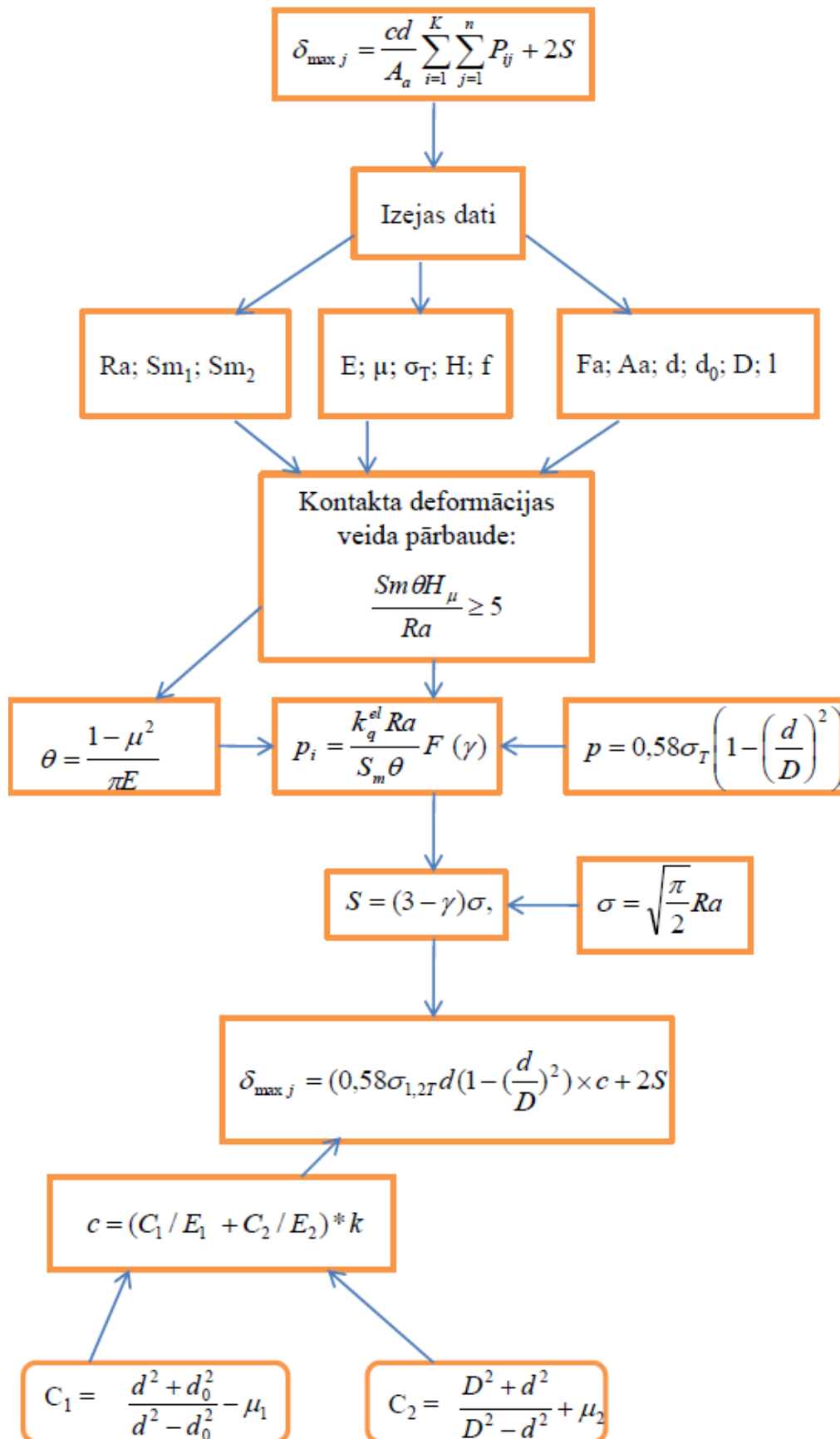
kur: k_q^{el} - koeficients, kas atkarīgs no raupjuma anizotropijas;

$F(\gamma)$ - funkcija, kas atkarīga no deformācijas līmeņa;

θ - detaļu materiāla elastības konstante.

To risināšana notiek pēc sekojošas shēmas: pēc dotās slodzes, virsmas raupjuma parametriem un materiāla īpašībām nosaka $F(\gamma)$, tad no tabulām atrod γ . Tādējādi iegūts, ka mikronelīdzenumu nogludināšanās ir atkarīga no virsmas raupjuma parametru Ra/S_m attiecības un detaļu materiāla fizikāli-mehāniskajām īpašībām.

5.3. Cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metode un piemērs



5.4. att. Sēžas ar uzspīlējumu aprēķina shēma

Cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu aprēķina shēma dota 5.4. attēlā.

Promocijas darbā dota salāgojuma ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metode un piemērs. Sākotnējie dati: savienojuma nominālais diametrs $d=15$ mm, bukses ārējais diametrs $D=50$ mm, savienojuma kontakta garums $l=20$ mm. Materiāls vārpstai un buksēi vienāds S355J2G3, kur: $E=2 \cdot 10^5$ MPa, $\mu=0,3$. Veicot aprēķinus, iegūtas minimālā uzspīlējuma vērtības pēc [2] metodes un izstrādātās metodes, kas dod samazinātu vērtību. Apmierinot savienojuma stiprības nosacījumu pie aksiālā spēka $F_a=2$ kN, minimālais uzspīlējums ir $\delta_{\min v}=7$ μm [2], bet pēc izstrādātās metodes $\delta_{\min j}=9,5$ μm .

5.1. tabula

Cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu salīdzinājums

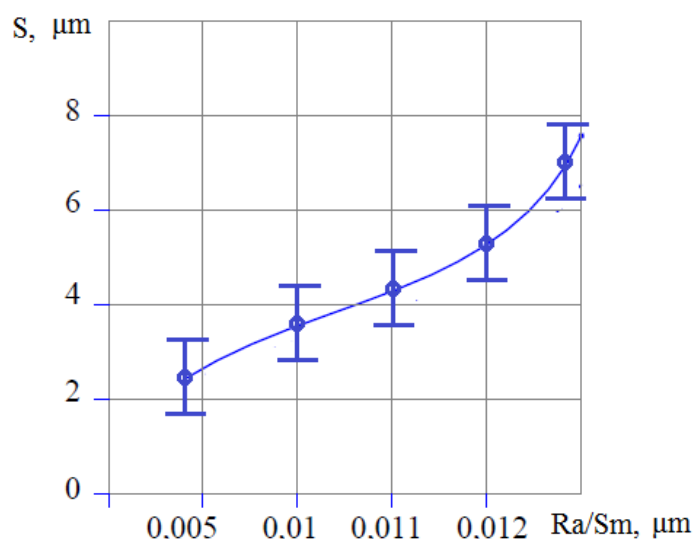
Uzspīlējums $\delta_{\max j}$, μm	Sm/ Ra, μm	Kontakta slodze p_j , MPa	Uzspīlējums [2] $\delta_{\max v}$, μm	Ra, μm	Kontakta slodze p_v , MPa
30,2	100/1,25	186	31,3	1,25	186
27		169	28,6		169
24		145	25		145

5.1.tabulā apkopoti cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu sēžas aprēķinu rezultāti. Pie vienādām slodzēm aprēķinātais uzspīlējums pēc S. P. Timošenko metodes ir nedaudz lielāks. Rezultātu atšķirība ir izskaidrojama :

- 1) Ar kontaktējošo virsmu tuvinājuma lielumiem. Pēc Timošenko metodes [2] tas ir 1,5 reizes lielāks. Otrajā gadījumā virsmu tuvinājumu aprēķina pēc (5.4) formulas, kur tiek noteikts virsmas raupjuma relatīvais deformācijas līmenis, līdz kuram tiek deformēts nelīdzenums. Tas ir atkarīgs no slodzes kontaktā un virsmas raupjuma parametriem Ra un Sm, kā arī materiālu īpašībām - E un μ ;
- 2) Izstrādātajā sēžas ar uzspīlējumu aprēķina metodē iekļauta virsmas raupjuma attiecība Ra/Sm, kas nav ņemts vērā S. P. Timošenko metodē, un ir svarīgs virsmas profila raupjuma raksturlielums un raksturo raupju virsmu kontakta deformācijas veidu. Šī attiecība raksturo arī vajadzīgā apstrādes veida izvēli. Precīzāku apstrādes tehnoloģiju parādīšanās mūsdienu ražošanā ļauj iegūt detaļas ar vēlamām virsmas raupjuma parametriem. Turklāt ar promocijas darbā piedāvāto cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķina metodi iespējams noteikt salāgojumam konkrētām prasībām vajadzīgo Ra/Sm attiecību. Kontakta raksturlielumi: slodze, virsmu tuvinājums, uzspīlējuma lielums ir atkarīgi ne tikai no atsevišķi ņemta virsmas raupjuma parametra Ra, bet arī no soļa parametra Sm un no to attiecības.

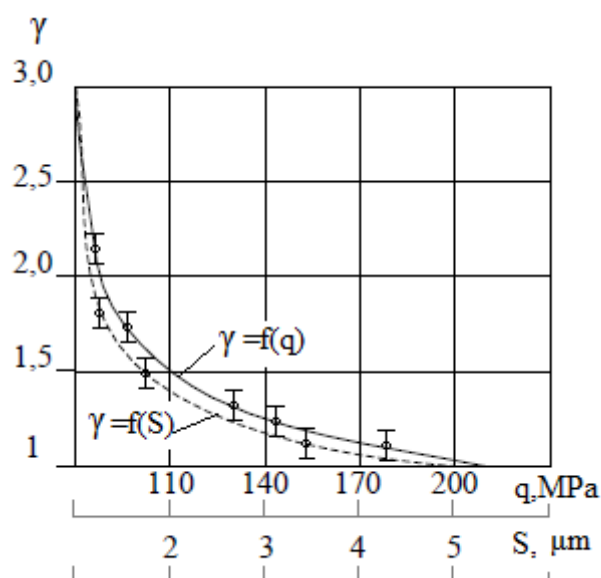
Iepriekš teiktais apstiprina, ka ar izstrādāto uzspīlējuma aprēķina metodi var iegūt precīzākus un reālajiem apstākļiem tuvākus aprēķina rezultātus salīdzinājumā ar [2] metodi. Prasību pēc precīzākas aprēķinu metodes veicina mašīnbūves attīstība un progress, kas prasa izgatavot ar vien precīzākas iekārtas, ilgtspējīgi noturīgus detaļu mezglus ar lielu izturību.

5.4. Kontakta virsmu raupjuma parametru Ra un Sm ietekmes izpēte uz uzspīlējuma lielumu un slodzi kontaktā



5.5. att. Tuvinājuma S izmaiņas atkarībā no virsmas raupjuma parametru Ra/Sm attiecības

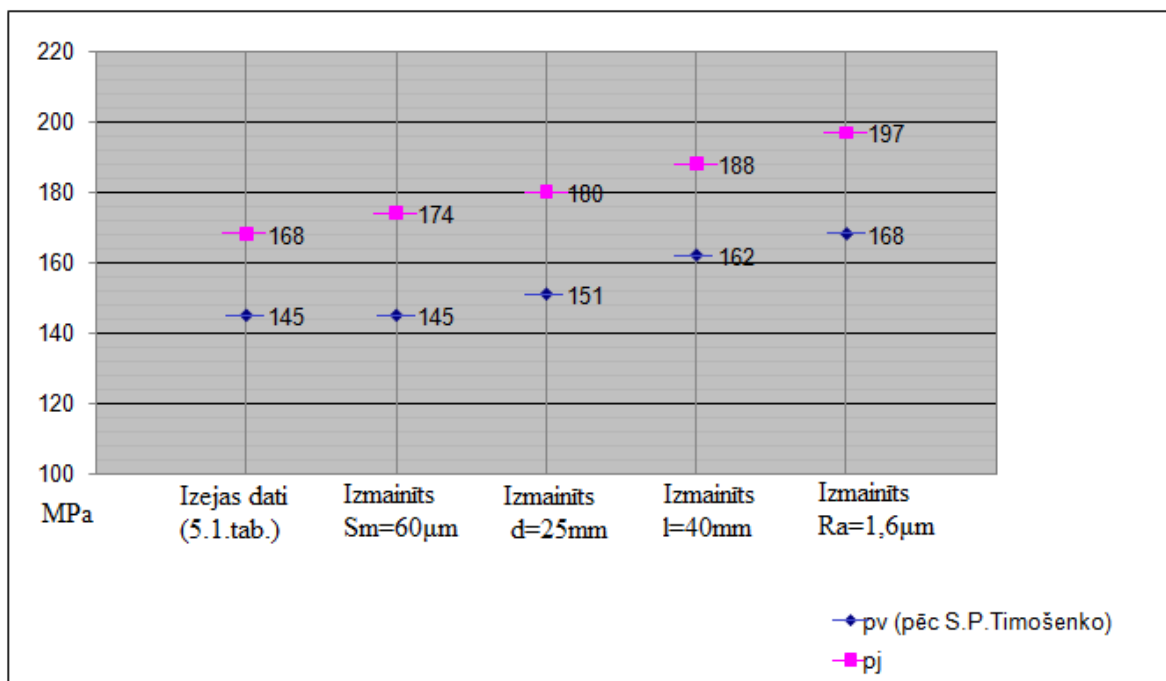
Palielinoties attiecībai Ra/Sm (5.5. att.), palielinās detaļu kontaktējošo virsmu tuvinājums. Pie maksimālā uzspīlējuma 30,2 μm (5.1. tab.) iegūts tuvinājums S=8,7 μm un pie minimālā uzspīlējuma 9,5 μm - S=5,1 μm. Analītiski noteikts, ka palielinot Ra un neizmainot Sm vērtību, pieaug tuvinājums S, bet attiecīgi slodze samazinās. Tas dod iespēju pilnīgāk aplūkot divu raupju virsmu izmaiņas kontaktā un iegūt precīzākus uzspīlējuma lielumus atkarībā no spēkiem uz kontaktu, jo lielumu S raksturo virsmas raupjuma attiecība Ra/Sm un slodze kontaktā.



5.6. att. Virsmas raupjuma deformācijas līmeņa izmaiņas atkarībā no slodzes kontaktā un virsmu tuvinājuma

5.6.attēls rāda deformācijas līmeņa izmaiņas atkarībā no slodzes kontaktā un virsmu tuvinājumu. Vērtības iegūtas pēc formulām (5.4) un (5.7). Slodzei pieaugot, deformācijas līmenis samazinās. Pieaugot virsmu tuvinājumam, deformācijas līmenis samazinās. Pie zemākām līmeņa vērtībām atbilst lielākas virsmas raupjuma deformācijas, līdzīgi kā pēc J.Rudzīša

pētījumiem. Promocijas darbā izmantojot izstrādātās formulas, noteiktas vairākas sakarības starp kontakta raksturlielumiem, kas apstiprina dažādas likumsakarības ar reālajiem kontaktēšanās procesiem.



5.7. att. Slodzes kontaktā izmaiņas atkarība no ģeometriskiem un virsmas raupjuma parametriem

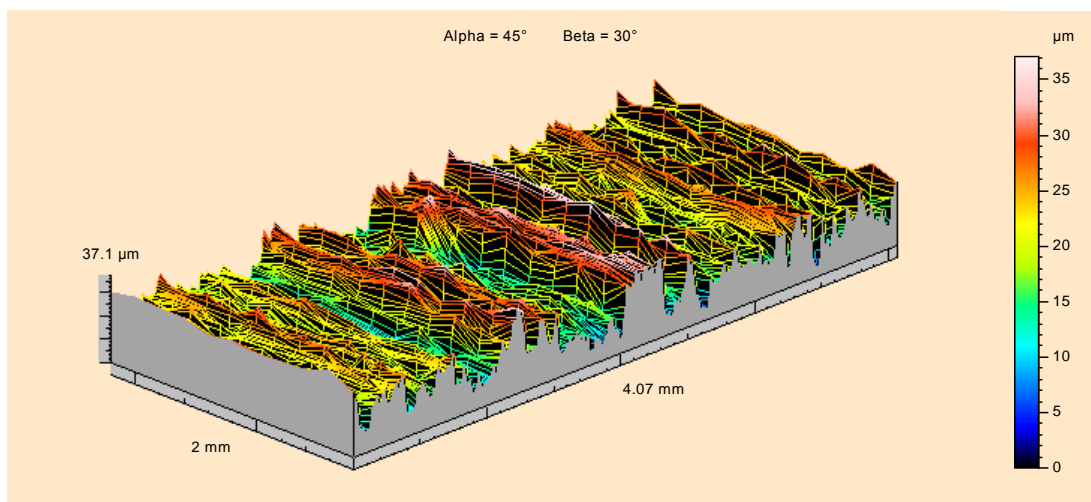
5.7. attēla redzamas slodzes kontaktā izmaiņas atkarībā no ģeometriskiem un virsmas raupjuma parametriem. Izmainot virsmas soli uz $60\ \mu\text{m}$ (sākotnējais $100\ \mu\text{m}$), slodze kontaktā, kas noteikta pēc izstrādātās metodes, palielinās. Līdzīgi kā pēc J. Rudziša pētījumiem [1; 3] samazinoties virsmas raupjuma solim, slodze uz detaļu pieaug. Palielinot R_a un neizmainot S_m vērtību, slodze kontaktā pieaug. Kā jau iepriekš tika izpētīts S. P. Timošenko metode neiekļauj aprēķinos virsmas raupjuma soļa parametru.

Pēc izstrādātās metodes iegūtie aprēķina rezultāti apstiprina lielāku saderību ar reāliem detaļu kontaktēšanās procesiem nekā pēc zināmās metodes. Metode dod iespēju iegūt precīzāku salāgojumu ar uzspīlējumu un izslēdz iespējas izvēlēties pārlietu lielus uzspīlējuma lielumus, lai nodrošinātu savienojuma izturību.

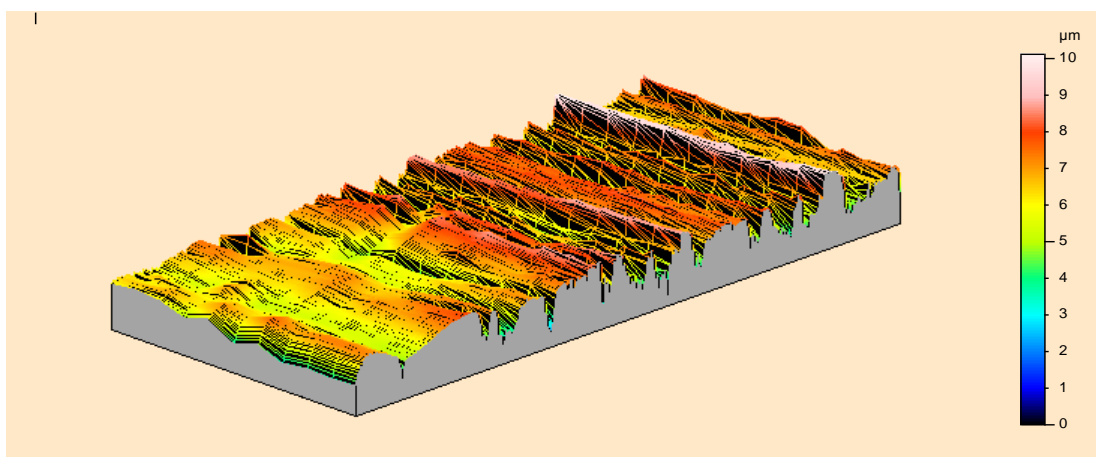
6.nodaļa CILINDRISKO DETAĻU MEZGLU AR UZSPĪLĒJUMU SALIKŠANAS RASKTUROJOŠO PARAMETRU EKSPERIMENTĀLĀ PĒTĪŠANA

Sestajā nodaļā veikts cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu ģeometrisku izmēru un virsmas raupjuma izmaiņu salikšanas procesā eksperimentālais pētījums. Eksperimenta mērķis ir veikt izstrādātās sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķina metodes pārbaudi ar praksē iegūtiem rezultātiem. Eksperimentam izstrādāja 15 paraugus ar dažādiem materiāliem un detaļu izmēriem. Lai noteiktu virsmas raupjuma profila parametrus pirms salikšanas un pēc tās, izmantoja Taylor Hobson virsmas mērīšanas Taylor Hobson Form Talysurf Intra 50 ierīci ar kuras palīdzību virsmas raupjumu var aplūkot kā 3D modeli. Katram eksperimentam veikti 3 mērījumi dažādos šķēļumos, nodrošinot mērīšanas trases bāzu sakrišanu. Par mērījumu rezultātu pieņemta vidējā vērtība.

6.1. un 6.2. attēlā parādīti eksperimenta parauga 1-20B ar šīs ierīces palīdzību iegūtie grafiskie attēli.



6.1. att. No izliekuma atbrīvots virsmas telpiskais attēls paraugam 1-20B pirms presēšanas
(Ap vertikālo asi pagriezts par 45°; pret x un y asīm par 30°)



6.2. att. No izliekuma atbrīvots virsmas telpiskais attēls paraugam 1-20B pēc presēšanas
(Ap vertikālo asi pagriezts par 45°; pret x un y asīm par 30°)

Eksperimentā iegūtie cilindrisko detaļu ar uzspīlējumu ģeometrisko izmēru un virsmas raupjuma rezultāti apkopoti darba 6.1. un 6.2. tabulā. Konkrētajam eksperimentālajam paraugam 1-20B, kas redzams 6.1. un 6.2. attēlā, sākotnējā virsmas raupjuma vidēja aritmētiska novirze ir 2,89 μm , bet pēc presēšanas 0,98 μm (-67 %). Savukārt tā paša parauga vārpstai 1-d20 sākotnējā novirze ir 1,17 μm un pēc presēšanas 0,43 μm (-63 %). Acīmredzami, ka bukses raupjuma izmaiņas ir lielākas. Katram paraugam virsmas raupjuma nogludināšanās lielumu ietekmēja dažādi faktori: detaļu formas novirzes, materiāls, ģeometriskā precizitāte un salikšanas kļūdas.

Salāgojuma izturības eksperiments veikts 5 partijām pēc montāžas ~ 24 stundām uz elektromehāniskas detaļu statiskās slodzes testēšanas iekārtas ZwickZ100, ar maksimālo slodzi līdz 100 kN. Pētījuma procesā fiksēts maksimālais izpresēšanas spēks P, kas atbilst vārpstas pārvietojuma sākumam. Iegūtie eksperimenta dati izmantoti kā izejas dati, lai noteiktu uzspīlējuma lielumu pēc jaunās metodes un S. P. Timošenko metodes. Pēc tam salīdzināt aprēķinātos uzspīlējumus ar praksē iegūto uzspīlējuma lielumu (6.1. tab.). Eksperimentam izgatavotās detaļas atbilda pēc izvēlētā pielaižu lauka lielākām vērtībām. Tādēļ iespējams salīdzināt pēc maksimālā uzspīlējuma vērtībām.

Uzspīlējuma lieluma salīdzināšana ar aprēķināto un praksē iegūto

Partijas Nr.	P, kN eksperimenta	$\delta_{max}, \mu m$		
		Izstrādātā metode	S.P.Timašenko metode	Izmērītais
1.	15,5	35,8	39,5	34
2.	15,8	36,4	40,1	35
3.	15,9	37,5	41,3	36
4.	16,1	38,2	41,9	37
5.	16,5	38,5	42	37,5

Berzes koeficients savienojumos ar uzspīlējumu izmainās pieaugot spiedienam kontaktā un atkarīgs no kontaktējošo virsmu raupjuma parametriem, apstrādes pēdu virziena un detaļu materiāliem. Pat reiz neeksistē analītiskas izteiksmes, kas iekļauj pieminēto faktoru ietekmi uz berzes koeficientu. Tādi apstākļi izslēdz iespēju prognozēt berzes koeficienta lielumu un izvēlēties tādu savienojuma parametru kombināciju, kas nodrošina nepieciešamo savienojuma izturību. Tas piespiež presēšanas spēka aprēķinos izmantot eksperimentālā ceļā iegūtos berzes koeficientus. Slodze kontaktā noteikta pēc vienādības $p=P/fA_a$, kur pieņemts, ka berzes koeficients $f=0,08$. Pēc S. P. Timošenko metodes aprēķinātais uzspīlējums ir $\sim 16\%$ lielāks (6.1. tab.) par eksperimentā iegūto. Savukārt pēc jaunās metodes atrastais uzspīlējums atbilst tuvāk praksē iegūtam lielumam. Tāda rezultātu atšķirība pirmkārt izskaidrojama ar to, ka berzes koeficients ir pieņemts. Otrkārt, mikronelīdzenumu tuvinājums vairāk kā 1,5 reizes pārsniedz iegūto tuvinājumu pēc izstrādātās metodes.

6.1. tabulas dati apliecina par jaunās metodes labāku atbilstību praksei.

SECINĀJUMI

Promocijas darbā „Cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu salikšanas tehnoloģiskā procesa izpēte” ir iegūti sekojoši rezultāti:

- 1) Veicot literatūras apskatu, konstatēts, ka pētījuma izstrādes laikā pieejamos zinātniskajos darbos nav pietiekami izpētīts cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu automātiskās salikšanas nosacījums $\delta_{\Sigma} \leq \varepsilon_{piel}$. Cilindrisko detaļu asu savstarpējās orientācijas salikšanas pozīcijā nodrošināšanas metodes automātiskajās iekārtās mazāk efektīvas sakarā ar salāgojamo detaļu virsmas profila raupjuma samazināšanos detaļu presēšanas laikā. Aplūkotajos darbos nav ņemti vērā virsmas raupjuma parametri: Ra un Sm, kas būtiski ietekmē salikšanas procesu.
- 2) Cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu salikšanas procesu pētījumu rezultātā noteikta detaļu asu savstarpējā novietojuma salikšanas pozīcijā pieļaujamā kļūda, kas nodrošina precizitātei nepieciešamo bāzēšanas shēmas izvēli un savienojuma precizitātes sasniegšanas metodes izvēli. No bāzēšanas shēmas izveles ir atkarīga dotā savienojuma salikšanas precizitāte un kvalitāte, automātiskās salikšanas aprīkojuma sarežģītība un darbība, kā arī izveidotās sistēmas ekonomiskie rādītāji.

Promocijas darbā piedāvāti piemērotākie cilindrisko detaļu bāzēšanas un fiksācijas paņēmieni automātiskajās salikšanas līnijās.

- 3) Noskaidrots, ka salikšanas procesu, orientējot detaļas salikšanas pozīcijā, ietekmē galvenokārt divi virsmas raupjuma parametri: Ra un Sm.
 Noteikts, ka cilindrisko detaļu salāgojuma kontakta raksturlielumi-slodze, virsmu tuvinājums, uzspīlējuma lielums nav atkarīgi tikai no atsevišķi ņemtiem virsmas raupjuma virsotņu Ra un soļa Sm parametriem, bet arī no to Ra/Sm attiecības.
 Izstrādāts cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu kontakta 3D modelis, izmantojot virsmu aprakstam 3D normālo gadījuma lauka teoriju.
 Secināts, ka sēžas ar uzspīlējumu aprēķina (S. P. Timošenko) metode nav precīza, ņemot vērā, ka cilindriskas detaļas ir telpisks objekts, tādēļ jādefinē reālajām virsmām atbilstoši profila raupjuma parametri. Lai raksturotu virsmas raupjumu, nepietiek ar vienu parametru Ra. Patreizējos aprēķinos nav ņemta vērā virsmas raupjuma profila parametru attiecība Ra/Sm, kas ir svarīgs virsmas raupjuma profila raksturlielums un nosaka raupju virsmu kontakta deformācijas veidu.
- 4) Izstrādāts cilindrisko detaļu kontakta ar uzspīlējumu izturības noteikšanas matemātiskais modelis pieļaujamam ārējam šķērsspēkam, kura iedarbībā savienojums lielākoties praksē ir noslogots ekscentriski. Iegūtas izturības nosacījuma izteiksmes atkarībā no pieļaujamā ārējā spēka, kas darbojas uz detaļu kontaktu. Tas ļauj realizēt kontaktā notiekošo procesu izpēti un prognozēt savienojuma kalpošanu jau tā projektēšanas stadijā.
- 5) Izstrādāta jauna cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējumu inženieraprēķinu metode, izmantojot virsmu aprakstam 3D normālo gadījuma lauka teoriju, kas dod iespēju noteikt precīzāk presēšanai vajadzīgo spēku un virsmas raupjuma parametrus salāgojumam pie konkrētiem apstākļiem, ko apstiprina eksperimentā iegūtie rezultāti.
 Iespējams noteikt nepieciešamo virsmas raupjuma parametru Ra un Sm attiecību, kas nav iekļauta iepriekš zināmās salāgojuma rakstura (sēžas) aprēķina metodēs.
- 6) Ar izstrādāto cilindrisko detaļu mezglu ar uzspīlējumu salāgojuma rakstura inženieraprēķina metodi var noteikt salāgojamo detaļu kontaktējošo virsmu tuvinājuma lieluma izmaiņas pie slodzes kontaktā atkarībā no virsmu raupjuma parametru Ra/ Sm attiecības.
 Analītiski noteiktas uzspīlējuma lieluma, kontakta spiediena un kontakta virsmu tuvinājuma izmaiņas atkarībā no virsmas raupjuma parametru Ra /Sm attiecības. Promocijas darbā, izmantojot izstrādātās formulas, iegūtas sakarības starp kontakta raksturlielumiem, kas apstiprina likumsakarības ar reālajiem kontaktēšanās procesiem. Līdzīgi kā pēc J. Rudziša pētījumiem [3], samazinoties virsmas raupjuma solim, slodze uz detaļu pieaug. Palielinot Ra un neizmanot Sm vērtību, slodze kontaktā pieaug. Slodzei pieaugot, virsmas raupjuma deformācijas līmenis samazinās. Pieaugot virsmas raupjuma tuvinājumam, deformācijas līmenis samazinās. Pie zemākām līmeņa vērtībām atbilst lielākas virsmas raupjuma deformācijas.
- 7) Veikts eksperiments ar mērķi salīdzināt eksperimentā iegūto uzspīlējumu ar aprēķināto, pēc izstrādātās cilindrisko detaļu mezglu sēžas ar uzspīlējuma inženieraprēķinu metodes, un doti secinājumi. Kontakta virsmu raupjuma mērījumiem izmantota virsmas mērīšanas Taylor Hobson Form Talysurf Intra 50 ierīce.
 Salāgojuma izturības pārbaudei izmantota elektromehāniskā detaļu statiskās slodzes testēšanas iekārta ZwickZ100. Pierādīta labāka saderība ar eksperimenta rezultātiem pēc izstrādātās metodes salīdzinājumā ar S. P. Timošenko metodi, kura dod mazākus detaļu izturības lielumus. Pēc S. P. Timošenko metodes aprēķinātais uzspīlējums ir vidēji~ 16% lielāks par eksperimentā iegūto. Savukārt pēc izstrādātās metodes atrastais uzspīlējums atbilst tuvāk praksē iegūtam lielumam. Eksperimentā iegūtie dati apstiprina, lai iegūtu precīzākus aprēķina rezultātus, tajos jāņem vērā virsmas raupjuma parametru Ra un Sm

attiecība, kas raksturo uzspīlējumu. Kontakta raksturlielumi- slodze, virsmu tuvinājums, uzspīlējums ir atkarīgi ne tikai no atsevišķi ņemta virsmas raupjuma parametra Ra, bet arī no soļa parametra Sm un no to attiecības.

LITERATŪRA

1. Rudzītis J. *Surface roughness topography investigations// VIIth Int. Oberflächen Kolloquium Technical University of Chemnitz.-Chemnitz: TU Chemnitz, 1992.-65.-70. p.*
2. Timoshenko S. P., Goodier J. N. *Theory of Elasticity.- New York: McGraw-Hill, 1970.-50 p.*
3. Рудзитис Я. *Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей. – Рига: Зинатне, 1975. – 216 с.*