

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Transporta un mašīnzinību fakultāte
Aparātu būvniecības katedra

Natālija MOZGA

Ražošanas tehnoloģijas doktora programmas doktorants
(doktor. apl.Nr. 911161683)

Tehnoloģisko procesu optimizācija salikšanai rotorautomātos

Promocijas darba kopsavilkums

Promocijas darba zinātniskais vadītājs:
Dr.sc.ing., asoc.profesors
FR.SUDNIEKS

Rīga - 2004

DARBA VISPĀRĒJAIS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Salikšanas tehnoloģiskā procesa automatizācijas problēmu pētījumi ir svarīgi vairāku iemeslu dēļ. Pirmkārt, salikšanas darbu darbietilpība mūsdienu ražošanā ir pietiekoši liela, un atkarībā no salikšanas objekta un ražošanas apstākļiem tā mainās 20-80% robežās no kopējās izstrādājumu darbietilpības. Otrkārt, salīdzinājumā ar citiem tehnoloģiskajiem procesiem salikšanas operācijas ir automatizētas vismazākā apjomā - to automatizācijas līmenis (pēc 2000.g. datiem) nepārsniedz 6% - 7%.

No visiem etapiem, kas veido tipveida salikšanas tehnoloģisko procesu, vislielākā darbietilpība ir tiem, kuri saistās ar savienojamo detaļu savstarpējo orientāciju un salāgošanu. Tādēļ ievērojamas salikšanas operāciju darbietilpības samazināšanas rezerves ir tieši šajā jomā.

Vienpozīcijas un daudzpozīciju salikšanas mašīnu lietošana ļauj realizēt diezgan sarežģītu izstrādājumu automatizētu salikšanu. Tomēr vislielāko tehniski-ekonomisko efektu salikšanas procesu kompleksajā automatizācijā var panākt, lietojot rotoru automātus un automātiskās rotoru un konveijeru līnijas, kurās izstrādājumi no operācijas uz operāciju (no rotora uz rotoru) tiek pārvietoti iepriekš orientētā stāvoklī.

Mašīnbūves un aparātu būves izstrādājumu salikšanas automatizācijas jautājumu pētījumiem veltīta virkne sekojošu autoru darbu: B.Balakšins, P.Bulovskis, A.Gavrilovs, V.Korsakovs, A.Malovs, M.Novikovs, A.Rabinovičs, K.Mucenijs un citi.

Literatūras avotu analīze rāda, ka salikšanas iekārtu drošas darbības, un saliekamo detaļu relatīvās orientēšanas precizitātes nodrošināšanas jautājumi ir nepietiekami izstrādāti. Šī iemesla dēļ radītie automāti ne vienmēr nodrošina salikšanas procesa veikšanas drošumu, kas savukārt ievērojami bremzē salikšanas ražošanas attīstību.

Minētie apstākļi neļauj uzskatīt esošos risinājumus par optimāliem, un ir par pamatu jaunu risinājumu, kuri nodrošinātu rotoru iekārtu iespēju pilnvērtīgu izmantošanu salikšanas operāciju veikšanā, meklēšanu.

Darba mērķis

Šī darba mērķis ir automātiskās salikšanas procesa pētīšana un optimizācija augstražīgā rotoru tipa aprīkojuma pielietošanai.

Noteiktā mērķa sasniegšanai bija nepieciešams atrisināt sekojošus uzdevumus:

- pētīt salikšanas metodes, kurās realizē saliekamo detaļu pārvietošanos salikšanas pozīcijā pa dažāda veida trajektorijām;

noteikt visoptimālāko saliekamo detaļu asu pārvietošanās trajektoriju automātiskās meklēšanas režīmā, par galveno optimizācijas kritēriju izmantojot detaļu savienošanas minimālo laiku;

- izskatīt vibrāciju pielietošanas iespējas augstražīgā rotoru tipa aprīkojumā, kurš tiek izmantots, piemēram, Daugavpilī A/S "Pievadķēžu rūpnīca Ditton", Rīgas rajonā SIA "Spilva", Tulas pievadķēžu rūpnīcā u.c.;

- noteikt detaļu relatīvās kustības ātruma, trajektorijas formas, svārstību amplitūdas un frekvences, un citu faktoru ietekmi uz detaļu salikšanas iespēju, kā arī aplūkot rotoru un detaļu kustības režīmu optimālos variantus;

noteikt saliekamo detaļu savienojamo virsmu apmaļu optimālo formu pie salikšanas, kur par optimizācijas kritēriju jāpielieto berzes spēku uz kontaktējošajām virsmām;

noteikt apmaļu formas un izmēru ietekmi uz pieļaujamās novirzes lielumu vibrācijas salikšanā;

- noskaidrot detaļu sagāzums salikšanas palīgierīcē ietekmi uz detaļu saliekamību;
- pētīt spēku, kuri darbojas uz detaļu vibrāciju klātbūtnē, ietekmi uz salikšanas procesu;
- pētīt saliekamo detaļu kustību trajektorijas aktīvajā posma (salikšanas pozīcijā).

Pētījumu metodes

Galvenā uzdevuma - salikšanas tehnoloģiskā procesa optimizācija uz rotora automātiem - veikšanai izmantota divu veidu optimizācija: strukturāla un parametriskā. Dažādos salikšanas tehnoloģiskā procesa projektēšanas un optimālā risinājuma izvēles etapos tika noteikti dažādi optimizācijas kritēriji, un pielietotas vairākas metodes: analītisko pētījumu metodes, empīriskās metodes un modelēšana. Risinot detaļas kustības

vienādības aktīvajā savākšanas posmā, tika izmantota nosacījumu salāgošanas metode. Skaitļošanas eksperimentos izmantots personālais dators (IBM PC), programmas «AutoCAD 2000», «Mathcad 8».

Darba zinātniskais jaunums

Jauni ir sekojoši disertācijas darba pētījumu rezultāti:

- pētīta automātiskās salikšanas metode uz rotora automātiem, kura nodrošina stabili detaļu savienošanu, kad pirms to savienošanas ir ievērojamas to savstarpējās orientācijas kļūdas;
- atrasti nosacījumi, pie kuriem veidojas garantēts detaļu savienojums, lietojot vibrācijas;
- noskaidrota spēku, kuri darbojas uz savienojamām detaļām, ietekme uz salāgošanas nosacījumiem salikšanā ar vibrāciju pielietošanu;
- noteikti optimālie salikšanas rotoru un saliekamo detaļu kustības režīmi.

Praktiskā vērtība

Salikšanas tehnoloģiskā procesa uz rotoru automātiem optimizācijas rezultātā noteikta detaļu savienošanas metode; optimālā kustības trajektorija; noteikti optimālie kustības režīmi, kas nodrošina simtprocentīgu uz salikšanas pozīciju padoto detaļu salikšanu; noteikta detaļu salāgojamo virsmu apmaļu optimālā forma. Inženiertehnisko aprēķinu vajadzībām dota automātiskās meklēšanas ierīču svārstību režīma aprēķina metodika, un dotas aprēķinu nomogrammas. Tas viss ļauj paaugstināt ekonomiskās efektivitātes līmeni salikšanas procesiem uz rotoru automātiem, kurus izmanto, piemēram, Daugavpilī A/S "Pievadķēžu rūpnīca Ditton", Rīgas rajonā SIA "Spilva", Tulas pievadķēžu rūpnīcā u.c.

Aizstāvēšanai izvirzītas sekojošas tēzes:

1. Vibrācijas salikšanas metožu, kur pielieto dažāda veida trajektorijas, pētīšana;
2. Visoptimālākās trajektorijas noteikšana saliekamo detaļu pārvietojumam automātiskās meklēšanas procesā (galvenais optimizācijas kritērijs - minimāls detaļu savienošanas laiks);
3. Vibrāciju pielietošanas pētījumi augstražīgā rotoru aprīkojumā;
4. Detaļu relatīvās kustības ātruma, trajektorijas formas, svārstību amplitūdas un frekvences, un citu faktoru ietekmes noteikšana uz detaļu salikšanas iespēju, un rotoru un detaļu kustības režīmu optimālo variantu analīze;
5. Salāgojamo virsmu apmaļu optimālās formas noteikšana detaļu salikšanā (optimizācijas kritērijs - berzes spēks uz kontaktējošām virsmām);
6. Apmaļu formas un izmēru ietekmes noteikšana uz detaļu pieļaujamām novirzēm vibrācijas salikšanā;
7. Detaļu sašķiebuma salikšanas ierīcē ietekmes uz detaļu salikšanas iespēju noteikšana;
8. Spēku, kuri darbojas uz detaļu vibrāciju klātbūtnē, ietekmes uz salikšanas procesu, un saliekamo detaļu kustības trajektorijas aktīvajā posmā (salikšanas pozīcijā) pētījumi.

Darba aprobācija

Par galvenajiem disertācijas darba atzinumiem un rezultātiem sniegti ziņojumi, kas saņēmuši pozitīvu novērtējumu, sekojošās konferencēs un semināros:

- 38. RTU studentu Zinātniski - tehniskā konference", (Rīga, Latvija, 1997.g., 21.-25. aprīlis);
- МЕТ-97. Международная конференция "Welding. Technologies, Equipment, Materials". - Рига, Латвия, 1997;
- 40. RTU studentu Zinātniski - tehniskā konference", (Rīga, Latvija, 1999.g.);
- Starptautiskā zinātniski-tehniskā konference "Metināšana, augstfrekvences tehnika, elektrotermija, metālu apstrāde", (S.Pēterburga, Krievija, 1999.g.).

- 44. International Scientific Colloquium. Technical University of Ilmenau. - Ilmenau, Germany, 1999;
- III International Conference "Welding. Technologies, Equipment, Materials, Related Technologies". - Riga, 1999;
- 42. RTU studentu Zinātniski – tehniskā konference, (Rīga, Latvija, 2001.g.);
- II International Conference for Young Scientists on Bionics, Biomechanics and Mechanics. - Varna, Bulgaria, 2001;
- 43. RTU Starptautiskā Zinātniskā konference, (Rīga, Latvija, 2002.g., 10.-14.oktobris);
- 47. International Wissenschaftliches Kolloquium. Technische Universität Ilmenau. - Ilmenau, Germany, 2002;
- Студенческая конференция "44. RTU Starptautiska Zinātniskā konference" (Рига, Латвия, 2003 г., 9-10 октября)

Publikācijas

Par veikto pētījumu rezultātiem un izstrādņēm publicēti 10 zinātniski tehniski raksti.

Darba struktūra un apjoms

Disertācija sastāv no ievada, četrām nodaļām, noslēguma un secinājumiem par darbu, literatūras saraksta, kas satur 137 nosaukumus. Kopējais disertācijas apjoms ir 168 lappuses, kas ietver galveno datorsalikuma tekstu ar 73 zīmējumiem, un literatūras sarakstu uz 10 lapām.

GALVENAIS DARBA SATURS

Ievadā pamatota tēmas aktualitāte un šī darba izpildes nepieciešamība, ir formulēti mērķi un uzdevumi, kā arī izklāstīti galvenie disertācijas atzinumi.

Pirmajā nodaļā dots pētāmajam jautājumam atbilstošās literatūras apskats; ir apskatīti: rotoru tipa mašīnas un automātiskās rotoru līnijas salikšanas operācijām; salikšanas tehnoloģiskā procesa uz rotoru iekārtām drošums, un drošuma paaugstināšanas pasākumi; saliekamo detaļu asu relatīvās kustības trajektorijas automātiskajā meklēšanā, kā arī tiek noteikts pētīšanas uzdevums.

Automātiskās rotoru līnijas lieto dažādās rūpniecības nozarēs, bet ievērojamu ekonomisko efektu kompleksās automatizācijas gadījumā dod automātisko rotoru mašīnu (RM) un līniju (ARL) pielietojums salikšanas ražošanā, kas izskaidrojams ar to pozitīvajām īpašībām, un priekšrocībām salīdzinājumā ar cita veida automātiskajām sistēmām.

Profesori L.Koškins, I.Klusovs, V.Preiss norāda, ka rotoru mašīnu sistēmas ļauj panākt augstu ražīguma līmeni (teorētiski bezgalīgu). To panāk, savietojot salikšanu ar nepārtrauktu transportēšanu; ar iespēju automātiski nomainīt darba spējas zaudējušos instrumentus bez mašīnu apstādināšanas; vairāku līnijā iekļauto mašīnu izmantošanas koeficienta saglabāšanu sakarā ar automātisku instrumentu bloku (IB) maiņu; detaļu plūsmas automātisku papildināšanu, un detaļu uzkrājumiem starp līnijām.

Galvenā salikšanas tehnoloģiskā procesa automatizācijas teorijas daļa satur jautājumus par salikšanas tehnoloģisko procesu 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 veltīti B.Balakšina, P.Bulovska, A.Gavrilova, B.Korsakova, A.Malova, M.Novikova, A.Rabinoviča, K.Mucenieka un citu autoru pētījumi.

Iemesli, kādēļ detaļas nevar salikt, atrodami kā pašā salikšanas aprīkojumā, tā arī detaļās, kuras nonāk salikšanas darba zonā, un salikšanas tehnoloģiskā procesa izvēlē. Dažos gadījumos atteikums var rasties vienlaicīgas minēto iemeslu darbības rezultātā. Tādējādi optimālā automātiskās salikšanas tehnoloģiskā procesa izstrāde un noteikšana uz rotoru automātiem un automātiskajām līnijām sastāv no sešiem galvenajiem etapiem: salikšanas aprīkojuma darba drošuma analīze; izstrādājuma, kura salikšanu paredzēts veikt automātiski, konstrukcijas tehnoloģiskuma analīze; salikšanas iespējamības apstākļu noteikšana; saliekamā izstrādājuma precizitātes nodrošināšanas metodes izvēle automātiskajā salikšanā; saliekamo detaļu bāzēšanas shēmas izvēle un to relatīvā novietojuma precizitātes aprēķins.

Automātiskajā salikšanā automāts saliks detaļas tikai tajā gadījumā, kad salikšanas automāts kopā ar saliekamajām detaļām veidos tādu izmēru ķēdi, kurā atstatums starp detaļu asīm Δ_{Σ} nepārsniedz pieļaujamo novirzi δ Tomēr, pat tad, ja detaļas ir izgatavotas atbilstoši pilnai savstarpējai apmaināmībai, salikšanas automātam piederošās izmēru ķēdes posmu papildus neprecizitātes bieži noved pie tā, ka daļa detaļu nebūs saliktas.

Attiecībā uz salikšanas iekārtu, papildus kinemātiskās shēmas nepilnībām, atteikumus var radīt arī tādi apstākļi, kā atsevišķu automāta mezglu konstrukcijas nepilnības; nekvalitatīvi izgatavotas detaļas, kuras nonāk salikšanas zonā; saliekamo elementu nepareizs novietojums, kad tie nonāk IB uztverošajās ligzdās, un tamlīdzīgi.

Automātiskās salikšanas iekārtu drošuma problēmas ir pētījuši I.Blajers, V.Kosilovs, B.Smiļanskis, B.Lobzovs, K.Mucenieks, R.Miķelsone. Saskaņā ar viņu pētījumiem, salikšanas automātu darbības drošumu var paaugstināt, pielietojot dažādus pasākumus, kas ļauj novērst atteikumus izraisošos iemeslus, vai arī samazināt to ietekmi. Pie tādiem pasākumiem pieder pareiza salikšanas iekārtu kinemātiskās shēmas un mezglu konstrukcijas izvēle, to centralizēta projektēšana un izgatavošana uz normalizētu mezglu bāzes, racionālas salikšanas automāta vadības un pārbaudes sistēmas izvēle, kura pārbauda atsevišķu operāciju izpildes pareizību, un atbilstošā veidā reaģē uz atklātajiem defektiem.

Dažādu faktoru analīze, kuri ietekmē salikšanas procesa drošumu uz automātiskajām iekārtām, dod iespēju noteikt galvenos drošuma paaugstināšanas ceļus, konkrēti, veidojot racionālu izstrādājumu konstrukciju, kura ir tehnoloģiska attiecībā uz salikšanas automatizāciju, un piemērojot optimālu salikšanas tehnoloģisko procesu..

Automātiski saliekamo izstrādājumu konstrukcijas tehnoloģiskumam ir ļoti liela nozīme, jo daudzos gadījumos tā nosaka ne tikai salikšanas procesa automatizācijas efektivitāti, bet automatizācijas realitāti vispār. Uzlabojot konstrukcijas tehnoloģiskumu, salikšanas darbietilpību var samazināt par līdz 20%, bet izstrādājuma izgatavošanas pašizmaksu par 5 - 10%.

Konstrukcijas tehnoloģiskuma jēdziens automātiskajā salikšanā aptver kā visa mezgla vai izstrādājuma konstrukciju, tā arī atsevišķu detaļu konstruktīvās īpatnības, kuras nosaka to piemērotību automātiskajai orientēšanai, padevei un novietošanai uz bāzes detaļas.

Konstrukcijas tehnoloģiskuma uzlabošanas iespējas salikšanā pietiekami detalizēti aprakstījuši P.Bulovskis, B.Sošņikovs, A.Gavrilovs, I.Pavlovs, V.Ivanovs, V.Smiļanskis un citi, kuri ir izanalizējuši ievērojamu daudzumu aparātu mezglu konstrukcijas, kurās savienojumus sastiprina ar dažādām tehnoloģiskajām metodēm. Minētajos darbos, kā arī vispārējos noteikumos norādīts, ka izstrādājuma tehnoloģiskuma novērtēšanu un

nodrošināšanu jāveic, ņemot vērā salikšanas etapu ietekmi uz saliekamo izstrādājumu kopumā, uz tā mezgliem, detaļām un materiāliem.

Izstrādājuma salikšanas automatizācijas sagatavošana prasa konstrukcijas tehnoloģiskuma analīzi, kam savukārt nepieciešams precīzi noteikt detaļu un saliekamā izstrādājuma tehnoloģiskuma pazīmes. Tāds novērtējums ļauj izlemt jautājumu par esošās izstrādājuma konstrukcijas salikšanas procesa automatizācijas iespējamību, kā arī iezīmēt konstrukcijas modernizēšanas ceļus, kas ļautu automatizēt salikšanas procesu.

Pašreiz ir zināmas vairākas izstrādājumu tehnoloģiskuma kvantitatīvās novērtēšanas metodikas automātiskās salikšanas apstākļiem, ko ir piedāvājuši M.Veinbergs, M.Ļebedevs, V.Jahimovičs, A.Kārklīņš un citi. Metodikā, kuru ir izstrādājis K.Mucenieks, ir ievērota rotoru iekārtas darba specifika, doti rekomendējami parciālie novērtējumi par atsevišķām detaļu un salikšanas vienību tehnoloģiskuma pazīmēm. Tehnoloģiskuma rādītāji noteikti kā parciālo novērtējumu vidējā aritmētiskā vērtība, ievērojot atsevišķu pazīmju svāra koeficientus.

Optimālā salikšanas tehnoloģiskā procesa piemērošanā tiek risināti divi galvenie uzdevumi: pirmais - saliekamo detaļu, izpildmehānismu, bunkuru, padeves un citu iekārtu optimālās bāzēšanas shēmas noteikšana, un otrais - kvalitatīvā novērtējuma iegūšana par to, kā izvēlētais salikšanas aprīkojums nodrošina salikšanas iespējamības noteikumus. Abus uzdevumus risina uz salikšanas iespējamības noteikumu pamata.

Cilindriskas formas detaļu automātiskās salikšanas nosacījumu noteikšanai veļtiti V.Kosilova, K.Mucenieka, M.Ļebedovska, I.Usenko, B.Zamjatina pētījumi.

Salikšanas iespējamības nosacījumi automātiskajā salikšanā ir spēkā tad, ja salikšanas pozīcijā saliekamo detaļu relatīvās orientācijas summārā kļūda Δ_{Σ} nepārsniedz pēc lieluma saliekamo detaļu asu relatīvās nobīdes pieļaujamo lielumu δ tas ir

$$\Delta_{\Sigma} < \delta. \quad (1)$$

Salikšanas iespējamības nosacījumu atrašana paredz visizdevīgāko bāzēšanas shēmu izvēli un aprēķinu, un savienojuma precizitātes sasniegšanas metodes izvēli.

Virknē gadījumu atrastie kaut kādu detaļu salikšanas iespējamības nosacījumi ir ļoti stingri attiecībā uz precizitāti, un bāzēšanas shēmas izvēle automātiskās salikšanas uzdevumu risināšanai dažreiz ir apgrūtināta, jo tās nevar nodrošināt saliekamo detaļu relatīvā stāvokļa augstās precizitātes prasības, kas apmierinātu salikšanas iespējamības nosacījumus. Šeit nākas atkārtoti pārskatīt salikšanas objektā ietilpstošo detaļu izmērus un pielaides. Šie pasākumi nepieciešami, lai iegūtu tādas salikšanas iespējamības nosacījumus, kuri ļautu izvēlēties pienācīgu bāzēšanas shēmu salāgojamo detaļu relatīvā stāvokļa

nepieciešamās precizitātes nodrošināšanai, kas atrisinātu automātiskās salikšanas uzdevumu.

Automātiskajā salikšanā uz rotoru automātiem var izmantot visas savienojumu precizitātes sasniegšanas metodes, izņemot pielāgošanas metodi. No pieņemtās savienojumu precizitātes sasniegšanas metodes ir atkarīga bāzēšanas shēmas izvēle un aprēķins, un no tā izrietoša salikšanas kvalitāte, automātiskā salikšanas aprīkojuma sarežģītība un darbības spēja, kā arī izveidotās sistēmas ekonomiskie rādītāji. No šīm pozīcijām vērtējot, pilnās savstarpējās apmaināmības metode nodrošina vislabākos rezultātus. Tā dod iespēju nodrošināt salikšanas kvalitāti, bez sarežģīta salikšanas aprīkojuma, un nodrošināt iekārtas darbības drošumu un augstu ražīgumu.

Tādējādi, uz izvēlētās salāgojuma nodrošināšanas metodes, un atrasto salikšanas iespējamības nosacījumu pamata tiek noteiktas visizdevīgākās bāzēšanas shēmas, kuras nodrošina tādas salāgojamo detaļu relatīvās orientācijas kļūdas, kas nepārsniedz pieļaujamās saskaņā ar salikšanas iespējamības nosacījumiem.

Atkarībā no bāzēšanas metožu kombinācijām S.Bizjajevs ir atradis 25 bāzēšanas paņēmienus cilindriskas formas detaļām. Bāzēšanas paņēmieni ļauj atklāt sakarības starp saliekamo detaļu izgatavošanas precizitāti, bāzēšanas precizitāti un salāgošanas noteikumiem, un saskaņā ar S.Bizjajeva iegūtiem rezultātiem, pielietojot dažādus bāzēšanas paņēmienus var izmainīt saliekamo detaļu ar tādām pašām pielaidēm, un tādas pašas precizitātes bāzēšanas iekārtu salāgošanas noteikumus vairākas reizes.

Atkarībā no izvēlētās saliekamo detaļu bāzēšanas shēmas izvēlas bunkuru, orientējošās, transportējošās, kontroles un citas salikšanas automātu iekārtas.

Lai principā atrisinātu jautājumu par salikšanas operācijas izpildes iespējamību vai neiespējamību, izejot no konkrētā saliekamā izstrādājuma izmēriem un pieņemtās detaļu bāzēšanas shēmas salikšanas pozīcijā, aprēķina saliekamo detaļu relatīvā novietojuma precizitāti (analītiskām vai eksperimentālām metodēm), un salīdzina iegūto detaļu salāgojamo virsmu novirzi ar pieļaujamo vērtību. Nepieciešamības gadījumā izvēlas detaļu un automātiskā salikšanas aprīkojuma elementu precizitātes paaugstināšanas pasākumus.

Pētījumi par detaļu saliekamību uz automātiem, kas novietoti automatizētās pozīcijās, un uz automātiskajām līnijām balstās uz M.Medvidja, A.Rabinoviča, A.Malova, V.Korsakova, N.Borodačeva, P.Dunajeva un virknes citu autoru darbiem. Ir bijušas piedāvātas vairākas automātiskās salikšanas procesa precizitātes aprēķinu metodikas.

Automātiskās salikšanas procesa precizitātes aprēķins sastāv no vairākiem etapiem, un tas satur saliekamo detaļu asu savstarpējā novietojuma summārās kļūdas noteikšanu pirms to savienošanas, un tās salīdzināšanu ar pieļaujamo lielumu.

Kļūdu, kas ietekmē detaļu relatīvo orientāciju, analīze, pielietojot vispārīgās izmēru ķēžu aprēķina metode, ir devis B.Lobzovs. K.Mucenika un B.Lobzova darbos ir piedāvāta automātiskās salikšanas procesa precizitātes aprēķina metodika, un pamatotas dažas detaļu salikšanas iespējas nodrošināšanas metodes.

Ar maksimuma-minimuma aprēķina palīdzību, un izejot no garantētās spēles savienojumā, A.Gusevs nosaka vislielākās pieļaujamās novirzes lielumu detaļām, kuras salāgojas pa cilindriskām virsmām.

Tehnisko zinātņu doktori, profesori A.Malovs un A.Paknis ir pētījuši detaļu salikšanas iespējamību, ja detaļu relatīvās orientācijas salikšanas pozīcijā summārās kļūdas un radiālās spēles sadalījums atbilst Simpsona likumam.

A.Gerasimovs ir pētījis saliekamo detaļu salāgojuma precizitāti.

Minētie pētījumi rāda, ka salikšanas procesa precizitātes pētījumi ļauj novērtēt procesa realizācijas drošumu, un iezīmēt pasākumus, kuri varētu paaugstināt procesa precizitāti un drošumu.

Virksne autoru (A.Rabinovičs, A.Malovs, V.Saviščenko, B.Lobzovs) norāda uz nepieciešamību veidot salāgojamo virsmu noslīpinājumus (fāzītes), lai samazinātu salikšanas piepūles. Secinājums, pie kā ir nonākuši pētnieki A.Gireļs, N.Kareļins, V.Bespalovs, K.Muceniks, B.Lobzovs, A.Rabinovičs, kuri ir analizējuši detaļu ar fāzītēm salikšanu, ir prasība samazināt tehnoloģiskās sistēmas stingumu. Tomēr flīzītes racionālas formas izvēles jautājumi, liektas salāgojamo virsmu fazītes (noapaļojuma) ievērošana, un to ietekme uz pieļaujamo noviržu lielumu nav pietiekami izstrādāti.

Ir parādīts, ka no visām metodēm, kas paaugstina automātiskās salikšanas procesa realizēšanas drošumu salikšanas rotora blokā, visefektīvāk ir pielietot gadījuma rakstura meklēšanas principu vibrāciju sistēmā, kurā tiek nodrošināta detaļu asu savstarpēja meklēšana plaknē, kas perpendikulāra salikšanas virzienam. Tehnoloģiskajā sistēmā ieviestais meklēšanas mehānisms pārvieto vienu vai abas detaļas līdz detaļas ass nokļūšanai pieļaujamās novirzes zonā, un salikšana izrādās iespējama pat pie ievērojamas sākotnējās relatīvās orientācijas novirzes lieluma.

Kā šādi meklēšanas mehānismi var būt lietoti dažāda veida mehāniskas, pneimatiskas, elektromagnētiskas un citas ierīces, kas nodrošina detaļu piespiedu kustību pa noteiktu trajektoriju.

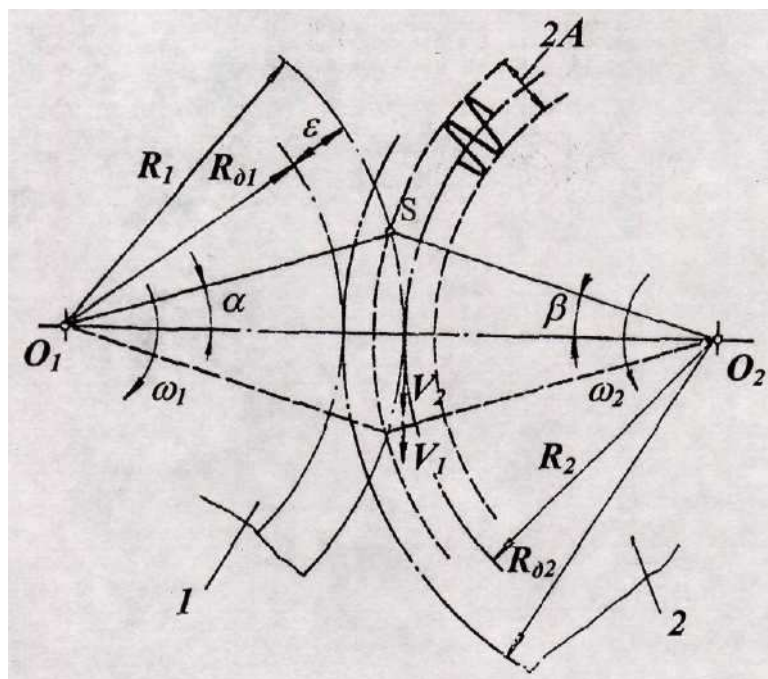
Literatūrā ir doti dažādu trajektoriju piemēri, kas nodrošina salāgojamo detaļu asu savstarpēju meklēšanu, un mehānismi to realizēšanai, ko piedāvājuši A.Rabinovičs, B.Lobzovs, K.Muceniks, N.Kareļins, A.Gireļs, V.Bespalovs, V.Saviščenko, Fr.Sudnieks un citi autori. Tomēr nav precīzi skaidrs, kura no relatīvās detaļu kustības trajektorijām ir visracionālākā automātiskajā salikšanā uz rotoru automātiem.

Ir noskaidrots, ka pilnīgi nepietiekami ir izstrādāti vibrāciju salikšanas metožu teorētiskie pamati, sevišķi jautājumi, kas saistās ar svārstību optimālajiem režīmiem (relatīvās kustības ātrums transportēšanas un vibrāciju pārvietojumu virzienos, svārstību amplitūda, frekvence un citi), ievērojot salāgojamo virsmu noslīpinājuma formu, spēkus, kuri darbojas uz detaļu kontaktēšanas momentā, un relatīvās kustības trajektorijas formu.

Disertācijas darbs ir veltīts automātiskās salikšanas optimālā tehnoloģiskā procesa izveidošanai uz rotoru automātiem paņēmienam ar vibrāciju pielietošanu, kas nodrošinātu detaļu salāgošanu, ja pirms to savienošanas ir ievērojama relatīvās orientācijas kļūda.

Pētījumi veikti vārpstas-bukses tipa detaļu savienojuma gadījumam, jo rotoru mašīnu sistēmas ir galvenais aprīkojums detaļu savienošanai ar cilindriskām virsmām.

Otrajā daļā ir noskaidrots, ka visoptimālākā saliekamo detaļu asu pārvietošanās trajektorija automātiskajā meklēšanā ir sinusoīda vai līkne, kas ir tuva sinusoīdai. Bija izvēlēti sekojoši optimizācijas kritēriji optimālā trajektorijas veida noteikšanai: minimālais detaļas ass atrašanās laiks spēles zonā, detaļas meklēšanas ceļa lietderīgais garums, un trajektoriju lietderības koeficients.



1.zīm. Salikšanas shēma ar salikšanas ierīču asu nobīdi attiecībā pret rotoru dalīšanas aplocēm par lielumu ϵ .

Tiek pētīts salikšanas paņēmiens ar sinusoidālu kustības trajektoriju, kurš ļauj paaugstināt detaļu automātiskās savienošanas procesa drošumu, nepaaugstinot to

izgatavošanas precizitātes prasības, kā arī automātiskā salikšanas aprīkojuma precizitāti. Dotā metode tiek realizēta tādejādi, ka saliekamās detaļas pārvietojas uz salikšanas pozīcijām ar dažādiem lineārajiem ātrumiem, bet vienai detaļai tiek piešķirta svārstību kustība šķērsvirzienā (perpendikulāri salikšanas kustībai). Pateicoties tam, tiek nodrošināta detaļu salāgojamo virsmu automātiska meklēšana to iespējamo noviržu zonas robežās.

Lai panāktu dažādus saliekamo detaļu transportēšanas kustību ātrumus, salikšanas ierīču asis tiek nobīdītas attiecībā pret rotoru dalīšanas aplocēm (1.zīm.) par lielumu ε . Iegūtas aprēķina sakarības, un uzbūvētas nomogrammas ε lieluma noteikšanai.

Parādīts, ka salikšanas apstākļi būs optimāli, ja laikā, kad detaļa virzās pa trajektorijas darba posmu, detaļu noieta ceļu starpība pārsniedz detaļu iespējamo noviržu no to aprēķinātā stāvokļa lielumu. Šī prasība izpildās pie nosacījuma

$$R_1\alpha - R_2\beta = \Delta_{\Sigma y}, \quad (2)$$

kur R_1 un R_2 - attālumi no salikšanas ierīču asīm līdz rotoru rotācijas centriem;

α un β - detaļu trajektoriju darba posmu leņķi;

$\Delta_{\Sigma y}$ - detaļu relatīvās orientācijas kļūda tangenciālā virzienā.

Līdz ar to automātiskajā salikšanas līnijā ievietotā rotora ar dalījuma aploču ārējo saskari maksimālais leņķiskais ātrums ierobežojas ar lielumu

$$\omega_1 = \frac{4\alpha v \delta}{\Delta_{\Sigma y}}, \quad (3)$$

kur v - vibratora svārstību frekvence;

δ - saliekamo detaļu asu pieļaujamā nobīde.

Rotoru griešanās frekvenci var palielināt, palielinot svārstību frekvenci, vai darba posma leņķi α , kurš savukārt palielinās, ja vienas detaļas asi papildus nobīda (2.zīm.) radiālā virzienā par lielumu $A - \Delta_{\Sigma x}$, kur $\Delta_{\Sigma x}$ - detaļu savstarpējās orientācijas radiālā virzienā kļūda.

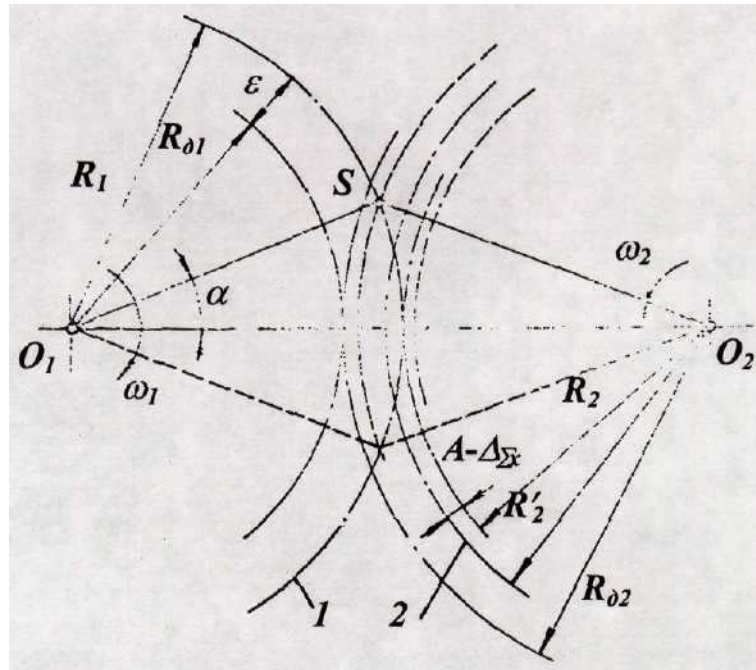
Optimālās nobīdes lielums rotoros ir

$$\varepsilon_{\text{opt}} = R_{\theta 1} \left(\frac{1}{\frac{2b\sqrt{i_{21}}}{\Delta_{\Sigma y}} - 1} \right), \quad (4)$$

kur i_{21} - rotora piedziņas pārnese attiecība;

$R_{\theta 1}$ - vedošā rotora dalīšanas aploces rādiuss;

b - punkta pēdas elipses pusass aprēķinātais lielums, mainoties nobīdei ε .



2.zīm. Detaļu salikšanas shēma rotoros ar 2.detaļas papildus nobīdi par lielumu $A - \Delta_{\Sigma x}$.

Trajektorijas darba zonas garumu var ievērojami palielināt, ja lieto rotorus ar dalījuma aploču iekšējo saskari, vai ķēžu-rotoru iekārtās.

Tādā gadījumā svārstošās detaļas kustības trajektoriju salikšanas posmā ar pietiekamu precizitātes pakāpi var aproksimēt ar sinusoīdu. Iespējams lietot arī cita tipa trajektorijas, bet tas sarežģī to realizēšanas iekārtas. Arī trajektorijas, kuras iegūst, pielietojot svārstības, kas vērstas zem leņķa, kurš nav taisnais attiecībā pret transportēšanas kustību, noved pie relatīvās kustības trajektoriju pārklāšanās zonas samazināšanās, kas pasliktina detaļu salikšanas apstākļus.

Parādīts, ka relatīvās transportēšanas kustības ātrums v_y ir atkarīgs no pieļaujamās novirzes lieluma S , kas aprēķināts, izejot no salāgojamo virsmu ģeometriskajiem izmēriem, vibratora svārstību frekvences ν , svārstību amplitūdas A un detaļu relatīvās orientācijas kļūdas $\Delta_{\Sigma x}$, un svārstās robežās

$$4 \delta \nu \geq v_y \geq 2 \delta \nu . \quad (5)$$

Detaļu svārstību kustības ātrums v_x pie mazas svārstību amplitūdas $A_x \cong \Delta_{\Sigma x}$ jāatrod kā vidējais svērtais ātrums, pieņemot detaļu satikšanās ātrumam normālo sadalījuma likumu.

Trešajā nodaļā parādīts, ka uz saliekamajām detaļām kontakta punkta darbojas sekojoši spēki: salikšanas piepūle P ; detaļas piespiešanas spēks Q pie salikšanas ierīces virzošajām virsmām; spēks F , ko rada vibrators, un berzes spēki starp detaļu kontaktējošām virsmām, un starp detaļām, un salikšanas galviņas un salikšanas ierīces virzošajām virsmām.

Ir noskaidrots, ka no virsmu raupjuma standartizētajiem parametriem salikšanas procesu ietekmē tikai divi: Ra un Sm .

Ir noteikta salāgojamo virsmu malu optimālā forma. Šeit par optimizācijas kritēriju ir pieņemts berzes spēks starp kontaktējošām virsmām. Noskaidrots, ka visoptimālākā ir pa rādiusu noapaļota mala.

Parādīts, ka vibrācijas salikšanā pieļaujamo nobīdi nosaka detaļu relatīvā pārvietojuma lielums vibrāciju plaknē, pie kura var sākties to savienošana, un tas ir atkarīgs no relatīvās kustības trajektorijas un pieļaujamās nobīdes zonas savstarpējā novietojuma.

Atkarībā no izvēlētajā svārstību režīma svārstošās detaļas ass trajektorija var šķērsot pieļaujamās nobīdes zonu vienu vai vairākas reizes pa līnijām, kuras atrodas kaut kādā nenoteiktā attālumā no noviržu zonas centra.

Lai nodrošinātu to, ka sinusoidālā trajektorija ar minimālu svārstību amplitūdu šķērsos pieļaujamās nobīdes zonu, kad tās centrs atrodas jebkurā punktā kļūdu $A\gamma$ izkliedes elipses iekšpusē, ir nepieciešams, lai trajektorijas solim būtu vērtība, kas nav lielākā par 2δ .

Atkarībā no spēku, kuri darbojas uz saliekamajām detaļām to kontakta punktā, attiecības (salikšanas piepūles, piespiešanas un vibratora spēka, un berzes spēka starp kontaktējošām virsmām), pa rādiusu noapaļoto detaļu malu saskarē ir novērojami trīs dažādi raksturīgi gadījumi:

1. Detaļas svārstīgā kustība beidzas, un realizējas salikšana, ja leņķu starpība

$$\alpha - \varphi > \rho, \quad (6)$$

kur α - pieskares slīpuma leņķis pret horizontāli detaļu kontakta punktā; φ

- leņķis starp kopspēku un salikšanas virzienu; ρ - berzes leņķis.

2. Detaļas svārstīgā kustība beidzas, un tā piespiežas ar noapaļoto malu pie salāgojamās detaļas malas. Salikšana notiks otra svārstību pusperioda laikā, t.i., kad svārstīgā detaļa kustēsies pretējā virzienā, ja izpildās nosacījumi

$$|\varphi - \alpha| < \rho, \quad (7)$$

$$\alpha + \beta > \rho, \quad (8)$$

kur β - leņķis starp kopspēku no salikšanas spēka un vibratora spēka un salikšanas virzienu.

3. Noapaļoto malu saskare neizmainīs svārstību raksturu, un salikšana nenotiks, ja

$$\varphi - \alpha > \rho. \quad (9)$$

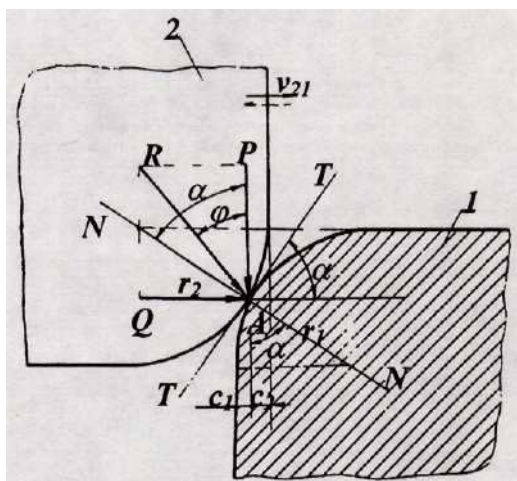
No šiem trim salikšanas gadījumiem vislielāko interesi izraisa otrais gadījums - automātiskā salikšana ar maksimālo pieļaujamās nobīdes lielumu S_e , pielietojot vibrācijas.

Detaļu noapaļoto malu kontaktēšanās analīze rāda, ka automātiskā salikšana ar vibrāciju pielietojumu notiek pat tad, kad detaļu malas sākotnējā kontaktā nedaudz pārsedzas (3.zīm.). Pieļaujamais šādas pārsegšanas lielums c ir atrodams no izteiksmes

$$c = (r_1 + r_2)(1 - \sin \alpha), \quad (10)$$

kur r_1, r_2 - detaļu malu noapaļojuma rādiusi;

α - leņķis starp pieskari kontakta punktā un detaļu gala virsmu plakni.



3.zīm. Detaļu noapaļoto malu kontakta shēma.

Maksimālais iespējamais pārsegšanas lielums atrodams atkarībā no leņķa α_{min} , t.i., no kontakta punkta atrašanās uz detaļas malām, kas savukārt ir atkarīgs no uz detaļu darbošos spēku attiecības, no kontaktējošo detaļu materiāla, detaļu sašķiebuma salikšanas ierīces virzošajās virsmās, un vibrāciju pārvietojuma ātruma.

Tas paplašina detaļu automātiskās savienošanas iespējamību, pielietojot vibrācijas, jo atrastā c vērtība ir samērojama ar pieļaujamās nobīdes δ lielumu.

Dots vibrāciju kustības ātruma aprēķins, ievērojot spēkus, kas darbojas uz detaļu.
Maksimālā ātruma vērtība

Vibrācijas kustības maksimālais ātrums

$$v_{x(\max)} = \frac{1}{k_v} \delta_b \sqrt{\frac{2P}{m(r_1 + r_2)(1 - \cos \alpha)}}, \quad (11)$$

kur k_v - ātruma koeficients, kas nosaka attiecību starp maksimālo un vidējo svērto ātrumu pie dažādiem svārstību režīmiem un noviržu sadalījuma likumiem (darbā dotas koeficienta k_v vērtības normālā sadalījuma likumam);

δ_b - pieļaujamā novirze, ievērojot detaļu malu pārsegšanos;

P - spēks, kas darbojas salikšanas virzienā;

m - detaļu masa, kuras pārvietošanas šī spēka ietekmē.

Šeit maksimālo svārstību amplitūdu ierobežo vibrāciju kustības ātrums un vibratora svārstību frekvence, bet minimālo - detaļu relatīvās orientācijas kļūdas lielums salikšanas pozīcijā, t.i.

$$A_{\max} = \frac{1}{2\pi\nu} v_{x(\max)}. \quad (12)$$

$$A_{\min} = \Delta_{\Sigma x}. \quad (13)$$

Disertācijas darbā aplūkotajam otrajam salikšanas gadījumam (detaļas ar noapaļotām malām) dota svārstību režīma aprēķina metodika, ievērojot spēkus, kas darbojas uz saliekamajām detaļām.

Ceturtajā nodaļā aplūkota detaļas kustība pa sinusoidālu trajektoriju salikšanas posmā, ievērojot darbojošos spēkus.

Atrisināts svārstošās detaļas kustības vienādojums tai pielikto spēku darbības rezultātā. Parādīts, ka berzes spēki obligāti jāievēro tikai posmā, kad detaļa kustas pa trajektorijas darba posmu, bet pretestības, kuras proporcionālas ātrumam, šajā posmā var neievērot. Svārstību centra nobīde no rotora aploces inerces spēku dēļ salīdzinājumā ar darba amplitūdām ir nesvarīga.

Vienādojums iegūts standarta veidā

$$\ddot{x} + p^2 x = -\frac{FTP}{m} \text{sign } \dot{x} + \frac{F_m}{m} \cos(\omega_F t + \varphi_0), \quad (14)$$

kur p - salikšanas iekārtas kustīgās daļas pašsvārstību frekvence;

F_{TP} - berzes spēks (summārais);

m - salikšanas iekārtas kustīgās daļas masa;

F_m - vibratora ierosinošās piepūles amplitūdas vērtība;

ω_F - ierosinošo svārstību frekvence;

φ_0 - ierosinošo svārstību sākuma fāze.

Vienādojuma (14) risinājums ir periodisks, tas ir atrasts pa etapiem, pieskaņojot sekojošā etapa sākuma noteikumus iepriekšējā etapa beigu noteikumiem.

$$x = \frac{F_{TP}}{mp^2} \left[1 - \sec \frac{\pi p}{2\omega_F} \cos \left(pt - \frac{\pi p}{2\omega_F} \right) \right] + \frac{F_m}{m(p^2 - \omega_F^2)} \cos(\omega_F t + \varphi_0) \quad (15)$$

$$\text{при } 0 \leq t \leq \frac{T}{2},$$

$$x = -\frac{F_{TP}}{mp^2} \left[1 - \sec \frac{\pi p}{2\omega_F} \cos \left(pt - \frac{3\pi p}{2\omega_F} \right) \right] + \frac{F_m}{m(p^2 - \omega_F^2)} \cos(\omega_F t + \varphi_0) \quad (16)$$

$$\text{при } \frac{T}{2} \leq t \leq T.$$

Ierosinošo svārstību sākuma fāze

$$\varphi_0 = \arcsin \left[-\frac{F_{TP}}{F_m p \omega_F} (p^2 - \omega_F^2) \operatorname{tg} \frac{\pi p}{2\omega_F} \right] \quad (17)$$

un svārstošās ierīces sākotnējā nobīde

$$x_0 = \frac{F_m}{m(p^2 - \omega_F^2)} \cdot \sqrt{1 - \frac{F_{TP}^2}{F_m^2 p^2 \omega_F^2} (p^2 - \omega_F^2)^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\pi p}{2\omega_F}}. \quad (18)$$

Doti arī atrastā risinājuma eksistences nosacījumi, t.i., pretestības spēku un salikšanas piepūles robežvērtības.

Galvenie slēdzieni

Veikto automātiskās salikšanas procesa uz rotoru automātiem pētījumu rezultātā var izdarīt sekojošus galvenos slēdzienus:

1. Vibrācijas metožu lietošana detaļu orientēšanai salikšanas pozīcijās paplašina universālo salikšanas automātu pielietojamas iespējas, un ļauj pazemināt automātiskajā salikšanā nonākušo detaļu izgatavošanas precizitātes prasības (nesalāgojamām virsmām). Pie tam detaļu salāgošana droši realizējas pat pie ievērojamas asu nesakrišanas.

2. Uz vibrācijas salikšanas metožu, kurās izmanto dažāda veida trajektorijas, pētījumu pamata noteikts, ka visoptimālākā saliekamo detaļu asu pārvietošanas trajektorija automeklēšanas režīmā ir sinusoidāla, vai tuva sinusoidālai līknei (par galveno optimizācijas kritēriju bija izvēlēts minimālais detaļu savienošanas laiks). Dotais detaļu savienošanas paņēmieni ir vienkārši realizējams, un bez tam sinusoidāla trajektorija ar parametriem, kas izvēlēti aprēķinā, un ir pastāvīgi visai uz salikšanu nonākušo detaļu partijai, pilnīgi pārsedz saliekamo detaļu asu noviržu izkliedes lauku $\Delta \Sigma$.

3. Vibrācijas salikšanas metode, kuru pielieto uz rotoru iekārtām, ļauj paaugstināt automātiskās detaļu savienošanas procesa drošumu, nepaaugstinot to izgatavošanas precizitātes prasības, kā arī automātiskā salikšanas aprīkojuma mezglu precizitāti.

4. Izstrādāta vibrācijas salikšanas metodes parametru inženieraprēķinu metodika, kas piemērojama salikšanas procesam uz rotoru automātiem, konkrēti: optimālā transportēšanas pārvietoējuma ātruma un svārstību kustības režīmu (svārstību kustības ātruma, amplitūdas, frekvences un citu). Izstrādātā aprēķinu metodika ir pietiekami universāla, un to var pielietot arī citu mehānismu un iekārtu, kas veic detaļu automātisko vibrācijas salikšanu, aprēķiniem.

5. Pamatojoties uz kontaktējošo virsmu berzes spēku pētījumu ir noteikta optimālā salāgojamo detaļu malu forma salikšanas procesam - noapaļota pa rādiusu.

Darbā parādīts, ka sākotnējais detaļu kontakts veidojas tieši pa salāgojamo virsmu malām, un ka malu noapaļojuma rādiusa ievērošana palielina detaļu noviržu pieļaujamo lielumu.

6. Detaļu asu sašķiešanās attiecībā pret salikšanas ierīcēm maina detaļu sākotnējā kontakta apstākļus, un tai ir maksimālā nozīme detaļu kontakta sākumā. Tas rada normāla salikšanas procesa traucējuma briesmas, un tādēļ sašķiešanās leņķis jāņem vērā, nosakot tā vai cita salikšanas varianta robežnoteikumus.

7. Salikšanas automāta tehnoloģiskās sistēmas stingumam vibrāciju pielietojamas gadījumā jābūt saskaņotam ar salikšanas piepūles lielumu.

Samazinoties salikšanas piepūlei (piemēram, salikšana zem detaļu pašsvara), detaļas piespiešanas piepūle jāsamazina, lai saglabātu pietiekamu detaļu malu pārsegšanos. Tomēr tai ir jāpaliek lielākai par berzes spēku, kurš rodas starp svārstošos detaļu kontaktējošām gala virsmām. Pie tam norādītajam berzes spēkam jābūt mazākam par vibratora radīto piepūli.

Palielinoties salikšanas piepūlei palielinās arī berzes spēks uz kontaktējošām virsmām, tādēļ vibratora svārstību amplitūda samazinās, salīdzinot ar sākotnējām (pirms detaļu kontakta), kas rada salikšanas procesa traucējuma briesmas pie minimālām amplitūdām.

8. Iegūtās aprēķinu izteiksmes, un disertācijas darbā dotie grafiki ļauj pie salikšanas rotoru aprīkojuma, kas izmanto vibrācijas salikšanas metodi, projektēšanas pareizi piemeklēt piedziņu, un nodrošināt optimālus svārstību režīmus.

Galvenie disertācijas materiāli publicēti sekojošos darbos:

1. N.Mozga, Fr.Sudnieks. Подготовка поверхностей соединяемых деталей // MET-97. International Conference "Welding. Technologies, Equipment, Materials". - Riga, Latvia, 1997; lpp. 267-275.
2. N.Mozga, Fr.Sudnieks. Interaction between components in the automatic assembling equipments // 44.International Scientific Colloquium. Technical University of Ilmenau. - Ilmenau, Germany, 1999; pp.322-325.
3. Н.О.Мозга, Ф.Судниекс. Обеспечение сборки различными методами // MET-99. III International Conference "Welding. Technologies, Equipment, Materials, Related Technologies". - Riga, 1999; pp.223-227.
4. N.Mozga, Fr.Sudnieks, A.Iesminsh. Dynamic of component movement on a site of assembly // RTU Zinātniskie raksti. Mašīnzinātne un transports. Ražošanas tehnoloģija. 2.sējums. - Rīga, Latvija, 2001.g.; lpp.58-64.
5. N.Mozga, Fr.Sudnieks, A.Iesminsh. Mechanics of details interaction in assembling block // II International Conference for Young Scientists on Bionics, Biomechanics and Mechanics. - Varna, Bulgaria, 2001; pp.56-58.
6. N.Mozga, Fr.Sudnieks, T.Filipova. Influence of characteristics of assembling parts on assembly process // 47.International Wissenschaftliches Kolloquium. Technische Universitat Ilmenau. - Ilmenau, Germany, 2002; pp.9 (CD-ROM).
7. N.Mozga, Fr.Sudnieks. Design technique of technological process for automatic assembly by rotary assembly machines and transfer lines // RTU Zinātniskie raksti. Mašīnzinātne un transports. Ražošanas tehnoloģija. 10.sējums. - Rīga, Latvija, 2004.g.;12 lpp.
8. N.Mozga, Fr.Sudnieks. Autosearch optimal mode determination for automatic assembly on rotary assembly machines and transfer lines // RTU Zinātniskie raksti. Mašīnzinātne un transports. Ražošanas tehnoloģija. 10.sējums. - Rīga, Latvija, 2004.g.;12 lpp.
9. N.Mozga, Fr.Sudnieks, A.Iesminsh. Applying optimized micro contact welding // RTU Zinātniskie raksti. Mašīnzinātne un transports. Ražošanas tehnoloģija. 10.sējums. - Rīga, Latvija, 2004.g.; 10 lpp.
10. N.Mozga, Fr.Sudnieks, O.Lininsh, A.Kamols. Determination of wear intensity of friction surfaces in assembly // IV International Congress "Mechanical Engineering Technologies'04". - Varna, Bulgaria, 2004; pp.10, (pieņemts publikācijai).