

Таттимбек Гүлеркенің
8D071 – «Инженерия және инженерлік іс» бағыты, D103 – «Механика және металдарды өңдеу» ББТ, 8D07105 – «Механикалық инженерия»
білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған «Ірі модульді тісті дөңгелектердің тістерін термофрикциялық өңдеу әдісін әзірлеу» тақырыбындағы диссертациясына

АНДАТПА

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі. Қазақстан Республикасының 2020-2025 жылдарға арналған индустриялық-инновациялық даму жөніндегі мемлекеттік бағдарламасы (ИИДМБ) экономиканы әртараптандыруға және инвестицияларды тарату, экспортты дамыту, жаңа технологияларды енгізу арқылы өңдеуші өнеркәсіптің, соның ішінде машина жасаудың бәсекеге қабілеттілігін арттыруға бағытталған. Негізгі назар ғылымды қажетсінетін өндірістерді құруға, адами капиталды және инфрақұрылымды дамытуға аударылады.

Қазақстанда 2024-2028 жылдарға арналған машина жасауды дамытудың кешенді жоспары іске асырылуда. Ол өндіріс көлемін 2,17 есеге арттыруға және көлемін бірнеше есе ұлғайтуға бағытталған. Негізгі назар автомобиль жасау, теміржол, ауыл шаруашылығы, тау-кен металлургиясы және электротехникалық машина жасау салаларына, сондай-ақ қосалқы бөлшектер өндірісін жергіліктендіруге және жаңа технологияларды енгізуге шоғырландырылған.

Отандық машина жасау кәсіпорындары жағдайындағы мәселенің жай-күйін зерттеу нәтижесінде ірі модульді тік тісті цилиндрлік тісті доңғалақтарды өңдеу барысында сапаны қамтамасыз ету, өнімділікті арттыру және тіс кескіш құралдардың мерзімінен бұрын тозуына байланысты олардың шығынының жоғары болуы мәселелері бар екендігі анықталды.

Сонымен қатар, отандық машина жасау өндірістерінде дайындалатын тісті доңғалақтардың жалпы көлемінің 45%-дан астамын цилиндрлік тісті доңғалақтар құрайтыны анықталды. Олардың ішінде шамамен 60%-ы тік тісті цилиндрлік тісті доңғалақтарға жатады. Бұл доңғалақтардың тісаралық ойықтары көшіру әдісі бойынша дискілі модульді жоңғыштарды пайдалану арқылы өңделеді.

Аталған мәселелерді шешу тік тісті цилиндрлік тісті доңғалақтардың тісаралық ойықтарын өңдеудің жаңа тиімді тәсілін әзірлеуді талап етеді.

Осыған байланысты тік тісті цилиндрлік тісті доңғалақтардың тісаралық ойықтарын өңдеудің ресурсты үнемдейтін тәсілін әзірлеуге бағытталған ғылыми-зерттеу жұмысы **өзекті міндет болып** табылады.

Жұмыстың мақсаты: түзу тісті цилиндрлік тісті дөңгелектердің тіс ойықтарын өңдеудің ресурсты үнемдейтін әдісін әзірлеу.

Зерттеу нысаны: цилиндрлік тісті дөңгелектердің тістерін өңдеудің технологиялық процестері.

Зерттеу пәні: цилиндрлік тісті дөңгелектердің тіс ойықтарын термофрикциялық өңдеу сапасының көрсеткіштеріне кесу режимдерінің әсер ету заңдылықтары.

Зерттеу әдістері: Зерттеу жүргізу барысында келесі әдістер қолданылды: цилиндрлік тісті дөңгелектердің тістерін өңдеу тәсілдері мен тіс кескіш құралдардың конструкцияларын талдау, кескіш құралды жобалау, тәжірибелік зерттеу жүргізу, нәтижелерді жоспарлау және өңдеу, цилиндрлік тісті дөңгелектердің тіс ойықтарын импульстік салқындатумен термофрикциялық жоңғылау процесін компьютерлік модельдеу.

Зерттеу міндеттері:

1. Мәселенің жағдайын зерттеу. Ірі модульді түзу тісті дөңгелектердің тістерін өңдеу және тексерудің қолданыстағы әдістері мен тәсілдерін талдау. Олардың мерзімінен бұрын тозу себептерін зерттеу.

2. Дискілі модульді үйкеліс фрезасының құрылымын жобалау және оның үлгісін әзірлеу.

3. Ірі модульді түзу тісті дөңгелектердің тістерінің ойықтарын термофрикциялық әдістермен өңдеу процестерін эксперименттік зерттеу.

4. DEFORM 3D және ANSYS Workbench компьютерлік бағдарламаларын қолдана отырып, үлкен модульді тісті дөңгелектердің тістерін термофрикциялық өңдеу кезіндегі жылу құбылыстарын математикалық модельдеу және дискілі модульді үйкеліс фрезасының геометриясын оңтайландыру.

5. Экономикалық тиімділікті есептеу. Өндіріске ұсыныстар әзірлеу. Нәтижелерді өндіріске енгізу.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы төмендегідей:

1. Ірі модульді түзу тісті дөңгелектердің тіс ойықтарын термофрикциялық өңдеу әдісін әзірлеу.

2. Эксперименттік түрде кесу жылдамдығы мен берілістің артуы өңделген беттің сапа көрсеткіштеріне (кедір-бұдырлық, қаттылық) оң әсер етеіні анықталды. Осыған сәйкес кесу режимдерінің оңтайлы мәндері анықталды:

- дәстүрлі ТФФ кезінде: $n_{\text{шн}} = 2000$ айн/мин; $S = 0,52$ мм/айн;

- импульстік салқындатуға ие ТФФ кезінде: $n_{\text{шн}} = 1250$ айн/мин; $S_{\text{пр}} = 100$ мм/мин; $t = 22,5$ мм

3. Арнайы дискілі-модульді үйкеліс жоңғышымен өңдеу кезінде сапа көрсеткішін бағалау үшін келесі тәуелділіктер анықталды:

- импульстік салқындатумен термофрикциялық жоңғылау үшін:

$$- Rz = 56 - 0,013 \cdot n + 0,194 \cdot S - 0,59 \cdot L_1$$

$$- HB = 343,335 - 0,166n + 0,1 \cdot S + 6,06t - 1,94 \cdot L_1$$

- дәстүрлі термофрикциялық жоңғылау үшін:

$$- Rz=39,31-0,0155V+64,1S;$$

4. Алғаш рет DEFORM 3D және ANSYS Workbench компьютерлік бағдарламаларын қолдана отырып, үлкен модульді тісті дөңгелектердің тістерін термофрикциялық өңдеу кезіндегі жылу құбылыстарын зерттеу және дискілі модульді үйкеліс фрезасының геометриясын оңтайландыру орындалды. Нәтижеде келесілер айқындалды:

- кесу жылдамдығы артқан сайын температура мәні жоғарылайды, ал оның таралу қашықтығы қысқарады, бұл температураның тікелей «құрал-дайындама» жанасу аймағында шоғырлануына ықпал етеді;

- ең тиімді кандидаттық нүкте үшін $a \approx 3\text{ мм}$, $b \approx 10\text{ мм}$ және $c \approx 4\text{ мм}$ шамалары алынды, бұл кезде $P4 \approx 33,306\text{ МПа}$, $P5 \approx 295,93\text{ }^{\circ}\text{C}$ және $P6 \approx -5,7488 \times 10^{-5}\text{ м}$ мәндеріне сәйкес келеді.

Қорғауға ұсынылатын негізгі қағидалар:

1. Ірі модульді түзу тісті дөңгелектердің тіс ойықтарын термофрикциялық өңдеу әдісі.

2. Түзу тісті цилиндрлік тісті дөңгелектердің тіс ойықтары импульстік салқындатумен термофрикциялық жоңғылау процесін эксперименттік зерттеу нәтижелері.

3. Арнайы дискілі-модульді үйкеліс жоңғышымен өңдеу кезінде сапа көрсеткіштерін бағалау тәуелділіктері.

4. DEFORM 3D және ANSYS Workbench компьютерлік бағдарламаларын қолдана отырып, үлкен модульді тісті дөңгелектердің тістерін термофрикциялық өңдеу кезіндегі жылу құбылыстарын зерттеу және дискілі модульді үйкеліс фрезасының геометриясын оңтайландыру нәтижелері.

Ғылыми тұжырымдардың, қорытындылар мен алынған нәтижелердің сенімділігін зерттеу мақсаты мен міндеттерінің дұрыс негізделуімен, жүргізілген теориялық және тәжірибелік зерттеулердің өзара сәйкестігімен дәлелденді.

Зерттеу нәтижелері бойынша дискілі-модульді үйкеліс жоңғышының құрылымына Қазақстан Республикасының (№9408) патенті, сондай-ақ жазықтықтарды термофрикциялық өңдеу тәсілі мен үйкеліс дискісінің құрылымына (№7579) патенті алынды.

Сонымен қатар, түзу тісті цилиндрлік дөңгелектердің тіс ойықтарын термофрикциялық өңдеуге арналған дискілі-модульді үйкеліс жоңғышының геометриялық параметрлерін көпкрийтерилі оңтайландыру әдістемесіне Қазақстан Республикасының интеллектуалдық меншікті объектісіне авторлық құқықты мемлекеттік тіркеу туралы куәлігі алынды.

Практикалық маңыздылығы төменгілерді әзірлеумен сипатталады:

- түзу тісті цилиндрлік тісті дөңгелектердің тіс ойықтарын импульстік салқындатумен термофрикциялық жоңғылау тәсілі;
- дискілі-модульді үйкеліс жоңғыштарының арнайы конструкциясы, олардың тәжірибелік үлгілері, технологиялық және құрал-саймандық жабдықтар;
- түзу тісті цилиндрлік дөңгелектердің тіс ойықтарын термофрикциялық өңдеуге арналған дискілі-модульді үйкеліс жоңғышының геометриялық параметрлерін көпкритерийлі оңтайландыру әдістемесі;
- өндірісте қолдануға арналған ұсынымдар.

Автордың жеке үлесі зерттеу міндеттерін қоюдан және зерттеу әдістемесін әзірлеуден; дискілі-модульді үйкеліс жоңғыштарының арнайы конструкцияларын, технологиялық және құрал-саймандық жабдықтарды әзірлеу мен дайындаудан; өңдеудің оңтайлы режимдерін анықтаудан; түзу тісті цилиндрлік тісті дөңгелектердің тіс ойықтарын импульстік салқындатумен термофрикциялық жоңғылау бойынша эксперименттік зерттеулерді ұйымдастырудан және жүргізуден тұрады.

Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасының 2020-2025 жылдарға арналған индустриялық-инновациялық даму мемлекеттік бағдарламасының және 2024-2028 жылдарға арналған машина жасауды дамытудың кешенді жоспарының негізгі міндеттерін орындауға бағытталған.

Сонымен қатар, диссертацияның негізгі нәтижелері «KAZTECHPRO» ЖШС өндірісіне енгізілді (Қарағанды қ., 2024).

Жұмыстың апробациясы. Докторлық диссертацияның негізгі ережелері С.Сейфуллин атындағы ҚазАТЗУ-дың «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасынң отырысында (2022-2026 жж.) талқыланып, баяндалды, сондай-ақ халықаралық деңгейдегі келесі конференцияларда жарияланды:

- «Жастар және ғылым – болашаққа көзқарас» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы (Сейфуллин атындағы оқу орындары – 18), (Астана, 2022);
- Зарафшан аймағының кешенді инновациялық дамуы: жетістіктер, міндеттер және перспективалар бойынша халықаралық конференция (Навои, 2022, 2025);
- «Машина жасау саласын дамыту және жаңа формациядағы жоғары білікті кадрларды даярлау» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференция (Астана, 2025).

Жарияланымдар

Докторлық диссертациясының нәтижелері бойынша 15 мақала орыс, қазақ және ағылшын тілдерінде, оның ішінде Clarivate деректер базасына сәйкес немесе Scopus деректер базасына енгізілген халықаралық ғылыми журналда 2 мақала және Қазақстан Республикасының Білім және ғылым

сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда 3 мақала, сондай-ақ Республикалық журналда 1 мақала жарияланды. Бұл жұмыстың баяндамалары 4 халықаралық конференцияда қаралды. Пайдалы модельдерге Қазақстан Республикасының 2 патенті және авторлық құқықтарды мемлекеттік тіркеу туралы 3 куәлік алынды.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы. Докторлық диссертация кіріспеден, 5 тараудан және қорытындыдан тұрады, машинада басылған 121 бетте баяндалған, 63 суретпен, 15 кестемен, 101 атаудан тұратын әдебиеттер тізімінен және 5 қосымшадан тұрады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмысты орындау кезінде отандық машина жасау кәсіпорындарының жағдайын зерттеу нәтижесінде ірі модульді түзу тісті дөңгелектерды өңдеу кезінде сапаны қамтамасыз етуге және өнімділікті арттыруға, сондай-ақ мерзімінен бұрын тозуға байланысты тіс кесу құралын көп тұтынуға орай мәселе бар екендігі анықталды. Бұл мәселені шешу үшін ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізіліп, келесі нәтижелерге қол жеткізілді:

1. Түзу тісті цилиндрлік дөңгелектер тістерінің ойымдарын импульсті салқындату арқылы термофрикциялық фрезерлеу әдісі жасалды.

2. ANSYS Workbench бағдарламалық кешенін қолдана отырып оның параметрлерін көп өлшемді оңтайландыруға арналған арнайы дискілі модульдік үйкеліс фрезаның құрылымы және әдістемесі әзірленді.

3. Арнайы дискілі модульдік үйкеліс фрезамен өңдеу кезінде кедір-бұдырлықты бағалауға арналған тәуелділіктер анықталды:

дәстүрлі ТФФ үшін - $R_z = 39,31 - 0,0155V + 64,1S$;

салқындатуға ие ТФФ үшін - $R_z = 56 - 0,013 \cdot n + 0,194 \cdot S - 0,59 \cdot L_1$

- $HB = 343,335 - 0,166n + 0,1 \cdot S + 6,06t - 1,94 \cdot L_1$

Ең күшті әсер ететін параметр x_2 (S) беріс және айналдырықтың айналу жиілігі, x_1 (n_{unn}) болып табылады, олар ұлғайған сайын кедір-бұдырлық мәні төмендейді. Бұл нәтижелер эксперименттік зерттеулер жүргізу кезінде расталды.

4. Түзу тісті цилиндрлік дөңгелектердің тістерінің ойымдарын импульсті салқындату арқылы термофрикциялық фрезерлеу әдісін эксперименттік зерттеу нәтижелері кедір-бұдырлықтың ($R_z = 40-18$ мкм) және қаттылықтың ($HB \leq 217-248$) қанағаттанарлық мәнін қамтамасыз етуге болатындығын көрсетті. Айналдырықтың айналу жиілігінің артуы және берістің жоғарылауы өңделген беттің кедір-бұдырлығы мен қаттылығына оң әсер ететіні анықталды. Дискілі модульдік үйкеліс фрезамен өңдеудің оңтайлы режимдері анықталды:

- дәстүрлі ТФФ кезінде: $n_{unn} = 2000$ айн/мин; $S = 0,52$ мм/айн;

- салқындатуға ие ТФФ кезінде: $n_{unn} = 1250$ айн/мин; $S_{np} = 100$ мм/мин;

$t = 22,5$ мм

5. DEFORM 3D арнайы бағдарламалық кешенінің көмегімен температураның таралуын зерттеу нәтижелері дискілі модульдік үйкелісті фрезаның айналу жиілігінің артуы «құрал-дайындама» түйісу аймағындағы температураның жоғарылауына оң әсер ететінін көрсетті. Бұл ретте оның дайындаманың денесі бойынша терең таралу ауқымы азаяды.

6. Өндіріске арналған ұсыныстар әзірленді. Диссертация нәтижелері «KAZTECHPRO» ЖШС өндірісіне енгізілді. Бір құралға шаққандағы экономикалық тиімділік 142 000 теңгені құрайды.