

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

ӘОЖ 621.9 (043)

Қолжазба құқығында

АБЛҚАЙЫР ЖАСТАЛАП НАУРЫЗҒАЛИ

**Механикалық өндеуден кейін пайда болатын қалдық кернеулердің
ауыспалы қондырудың беріктігіне әсерін зерттеу**

6D071200 – Машина жасау

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертациясы

Ғылыми жетекші:
т.ғ.д., профессор
Турдалиев Ауезхан Турдалиевич

Шет елдік ғылыми жетекші:
т.ғ.к., доцент
Ефременков Егор Алексеевич (Ресей)

Қазақстан Республикасы
Алматы, 2022

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР	4
АНЫҚТАМАЛАР	5
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	6
КІРІСПЕ	7
1 Қалдық кернеулердің пайда болу сипаты, пайда болу себептері, қалдық кернеулердің жіктелуі туралы мәселенің жағдайы	12
1.1 Құрылымдардағы қалдық кернеулердің анықтамасы және рөлі	12
1.2 Металл бөлшектердің эксплуатациялық қасиеттеріне қалдық кернеулердің әсері	25
1.3 Құрылымдардағы қалдық кернеулердің анықтамасы және рөлі	32
1.4 Құрылымдық және технологиялық факторлардың құрылымдық элементтердегі кернеулі-деформациялық күйге әсері.	34
2 Құрылымдық факторлардың қалдық технологиялық кернеулерге әсерін зерттеу	37
2.1 Өтпелі қондырулары бар қосылыстардағы кернеулі-деформацияланған жай-күйді және технологиялық зерттеу	37
2.2 Қондырудың технологиялық операциясын өтпелі қондырумен орындау кезінде алынған қалдық кернеулерді есептеу	39
2.3 Кернеулі деформацияланған күйді зерттеу бір осьті созылу кезінде өтпелі қондырулармен қосылыстар	43
2.4 Таза ығысу жағдайларындағы өтпелі қондыруларға байланысты ҚДК есептеу.	46
2.5 Екі осьті созылу кезінде өтпелі қондырулармен қосылыстың кернеулі-деформацияланған күйін есептеу	50
2.6 Білік – сақина қосылыстарының керілуімен өтпелі қондырулары мен қондырудың ілінісу беріктігін есептеу	51
3 Кесу режимдері мен аспаптың геометриялық параметрлерінің қалдық кернеулерге тигізетін әсері	57
3.1 Кесу режимдерінің қызметтік тағайындалуы	57
3.2 Негізгі режимдік параметрлерді алдын-ала таңдау	58
3.3 Негізгі режимді факторларды таңдау	59
3.4 Бастапқы жұмыс параметрлерін есептеу	59
3.5 Механикалық өңдеу кезінде қалдық кернеуді технологиялық зерттеу	69
3.6 Қалдық кернеулерді анықтаудың осы заманғы әдістері	70
3.6.1 Босату әдісі	70
3.6.2 Тесік тесу әдісі	74
3.7 Технологиялық қалдық кернеуді зерттеуге арналған ТҚК–3А қондырғысы	79
4 Механикалық өңдеуден кейін қалдық кернеулердің деңгейін төмендетуге және қайта бөлуге бағытталған технологиялық	

тәсілдер	83
4.1 Қалдық кернеулерді алып тастайтын және қайта бөлетін тиімді технологиялық әдістер	83
4.2 Қалдық кернеулерді төмендетудің термиялық әдістері	83
4.3 Қалдық кернеуді төмендетудің механикалық әдістері	92
5 Қалдық кернеулерді компьютерлік модельдеу	98
5.1 Ақырғы элементтер әдісі және ANSYS бағдарламалық пакеті	99
5.2 Қалдық кернеулерді модельдеу принциптері	100
ҚОРЫТЫНДЫ	105
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	107
ҚОСЫМША А	114
ҚОСЫМША Ә	115
ҚОСЫМША Б	116

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертацияда келесі стандарттарға сілтемелер пайдаланылды:

МЕСТ 6.38–90 – Құжаттаманың сәйкестендірілген жүйелері. Ұйымдастырушылық–жарлықтық құжаттама жүйесі. Құжаттарды ресімдеуге қойылатын талаптар

МЕМСТ 7.32-2001. Ғылыми-зерттеу жұмысы туралы есеп. Рәсімдеу құрылымы мен ережелері.

МЕСТ 7.1-2003. Библиографиялық жазба. Библиографиялық сипаттама. Құрастырудың жалпы талаптары мен ережелері.

МЕСТ 8.417–81 – Мемлекеттік өлшемдер біртұтастығын қамтамасыз ету жүйесі. Физикалық шамалардың бірліктері

АНЫҚТАМАЛАР

Бұл диссертацияда келесі терминдер сәйкес анықтамалармен бірге пайдаланылады:

Кернеу - сыртқы жүктеме әсерінен көлемде пайда болатын ішкі бөлінген күштердің немесе олардың құрамдас бөліктерінің қарқындылығы. Кернеу аудан бірлігіне түсірілетін күш ретінде анықталады.

Аққыштық шегі-бұл материал кернеу мен деформацияның пропорционалдылығынан дәл белгіленген ауытқуды көрсететін кернеу.

Технологиялық қалдық кернеулер-бұл бөлшекті немесе құрылымды жасау кезінде материалдан басталатын және өндірістен кейін жалғасатын физикалық және физика-химиялық процестердің салдары болып табылатын кернеулер;

Жүктеме кернеулері-бұл материалдың сыртқы жүктемеге серпімді реакциясы ретінде пайдаланылатын бөліктің немесе құрылымның материалында пайда болатын кернеулер, сыртқы әсерді алып тастағанда жүктеме кернеулері жоғалады;

Эксплуатационды қалдық кернеулер-бұл бөліктің немесе құрылымның бүкіл қызмет ету мерзімі ішінде материалда пайда болатын және жиналатын бөліктің немесе құрылымның ішкі энергиясының сыртқы өріс энергиясымен өзара әрекеттесу процестерінің нәтижесі болып табылатын кернеулер;

Жұмыс кернеулері-бұл технологиялық, жүктеме және пайдалану кернеулерінің векторлық қосындысы;

Нақты кернеулер-бұл өлшеу кезінде қалыптасқан технологиялық және пайдалану кернеулерінің векторлық қосындысы.

Деформация-сыртқы немесе ішкі күштердің әсерінен қатты дене нүктелерінің өзара орналасуының өзгеруі.

Жүктеме-бұл материалға әсер ететін және ондағы кернеулер мен деформациялардың пайда болуына әкелетін күш.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

ҚР БҒМ БҒСБК-Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті

ПӘК - пайдалы әсер коэффициенті

ҒТП-ғылыми-техникалық прогресс

КДК-кернеулі деформацияланған күй

АЖЖ-автоматтандырылған жобалау жүйесі

ҚК-қалдық кернеулер

ТӨ-термиялық өңдеу

АЭӘ-ақырлы элементтер әдісі

СЭ-серпімді элемент

МН-Меганьютон

МПа-Мегапаскаль

Кн-Килоньютон

БҚК- беттік қалдық кернеу

АРМWinMachine, КОМПАС 3D - бұйымдарды компьютерлік модельдеу бағдарламалары;

«INVENTOR» - өнімдерді үш өлшемді геометриялық модельдеу бағдарламасы

КІРІСПЕ

Шешілетін ғылыми-техникалық мәселелердің (міндеттердің) қазіргі жай-күйін бағалау

Машина жасау-бұл кез-келген объект үшін жобалаудан өндіріске дейінгі мәселелерді шешудің әдістері мен принциптерін қолдану. Машина жасау саласындағы мамандар құрылымдардың сенімді, қауіпсіз және тиімді, сонымен қатар бәсекеге қабілетті бағамен жұмыс істейтініне кепілдік бере отырып, өз жұмысына физика принциптерін қолданумен талдау жасайды.

Өнеркәсіптің негізгі салаларының бірі –машина жасау, ол барлық өнімдердің шамамен 35% үлесіне ие. Машина жасаудың даму деңгейі халық шаруашылығының барлық салаларындағы ғылыми-техникалық прогресс (ҒТП) деңгейін айқындайды. Машина жасау барлық салаларды машиналармен, технологиялық жабдықтармен және құралдармен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Станок жасау –қазіргі әлемдегі ҒТП-ны анықтайтын және біліктілігі жоғары мамандарды және негізінен елдегі дамыған өнеркәсіпті қажет ететін машина жасаудың негізгі саласы.

Беріктік пен тозуға төзімділік мәселелері машина жасаудағы ресурсты қамтамасыз етудің негізгі мәселесі болып табылады. Сондықтан беріктікті, тозуға төзімділікті және сенімділікті есептеудің заманауи әдістері туралы терең білім қажет.

Өнімнің беріктігі мен сенімділігі жобалау кезеңінде белгіленеді. Конструкциясы, дайындау технологиясы, ТҚК жүргізу және пайдаланылатын материалдар өзара байланысты және шарттас болуы тиіс. Бұл жаңа бөлшектер мен машиналарды жасау процесінің бүкіл тізбегін құрудың негізі. Машиналарды модернизациялау кезінде тек материалды, құрылымды немесе технологияны ғана ерікті түрде өзгертуге жол берілмейді. Бұл шарттарды орындамау машиналардың сапасына қойылатын барлық басқа талаптар мен өлшемшарттарды автоматты түрде мәңсіз етеді. Бөлшектер материалдарының беткі қабатының сипаттамалары өнім бөлшектерінің пайдалану қасиеттеріне шешуші әсер етеді.

Жұмыстың негізгі аспектісі –қалдық кернеулер.

Қалдық кернеулер (ҚК) — сыртқы күштер болмаған кезде дененің ішінде теңдестірілген серпімді деформация және оған сәйкес кернеулер. ҚК уақыт бойынша сақталады.

Локализация дәрежесіне байланысты қалдық кернеудің мынадай түрлері ажыратылады:

- бүкіл дененің өлшемдерімен бір ретті көлемде теңестірілетін 1-ші түрдегі қалдық кернеулер (макроскопиялық); қолданыстағы әдістер негізінен 1-ші түрдегі қалдық кернеулерді бағалайды;

- түйіршік өлшемдерімен бір ретті көлемде теңестірілетін 2-ші типтегі (микроскопиялық) қалдық кернеулер; рентгенографиялық әдістермен айқындалады;

- атомдық-кристалдық тордың өлшемдерімен бір ретті көлемде теңестірілетін 3-ші типтегі қалдық кернеулер (субмикроскопиялық бұрмаланулар).

ҚК пайда болуының негізгі себебі –дененің әртүрлі аймақтарындағы ұзындықтың (көлемнің) әртүрлі дәрежеде өзгеруіне байланысты деформацияланған күйдің әртектілігі. Бұл әртектіліктің себебі мыналар болуы мүмкін: температура градиенті, мысалы, қатты қыздыру немесе салқындату кезінде (термиялық немесе температуралық кернеулер); дененің әртүрлі құрылымдық немесе конструктивті компоненттерінің (гетерогенді құрылымдар, биметалдар және т.б.) жылулық кеңеюінің әртектілігі; фазалық түрленулер (фазалық кернеулер); пластикалық деформацияның әртектілігі (беткі қабаттан кейінгі қалдық кернеу).

Қалдық кернеулердің әсерінен қисаю, мөлшердің өзгеруі, тіпті жойылу сияқты салдары болуы мүмкін.

Қалдық кернеулер өзара тепе-теңдікте болуы, ал олар тудыратын деформациялар рұқсат етілетін мөлшерден аспауы тиіс.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Бөлшектердегі беттік қалдық кернеулерді қалыптастыру, басқару және бақылау мәселелері маңызды міндеттердің бірі болып табылады, оларды сәтті шешу қозғалтқыш бөлшектерін өндіру кезінде беріктік сипаттамаларының тұрақтылығын едәуір арттыруға мүмкіндік береді, өз кезегінде бұл қозғалтқыштардың қажетті сенімділігін қамтамасыз етуге септігін тигізеді. Машиналардың бөлшектерін және механизмдерін өндіруде қысыммен өңдеудің әртүрлі технологиялары, құю, дәнекерлеу, термиялық өңдеу, тегістеу, кесу арқылы өңдеу және басқа да әдіс-тәсілдер қолданылады, бұл өнімде ішкі және беттік кернеулердің пайда болуымен қатар жүреді. Көп жағдайда кернеулер технологиялық процесс аяқталғаннан кейін металда толығымен немесе ішінара сақталады, сондықтан қалдық кернеулер деп аталады.

Қалдық кернеулер біртекті пластикалық деформацияға немесе дененің әртүрлі нүктелеріндегі меншікті көлемнің әртүрлі өзгеруіне байланыстытуындайды. Қолайсыз қалдық кернеулер деңгейінің төмендеуі түрлі технологиялық әдістермен, мәселен, термиялық өңдеу жүргізуімен қамтамасыз етіледі.

Дегенмен, бақыланатын қалдық кернеулерді жасау арқылы металдың өнімділік қасиеттерін айтарлықтай өзгертуге, мысалы, төзімділік шегін арттыруға болады. Беткі қабаттағы қауіпті созылатын жұмыс кернеулерінің әсерін азайту мақсатында металдарды беттік өңдеудің әртүрлі технологияларын (катайту) қолдану арқылы қысушы қалдық кернеулерін жасайды.

Көптеген жағдайларда өнімнің көлемі бойынша қалдық кернеулердің мөлшері, белгісі және таралуы белгісіз болады. Бұл сипаттамаларды анықтау үшін өнімнің тұтастығын бұзу немесе беттік қалдық кернеулердің (БҚК) деңгейін бағалауға мүмкіндік беретін бұзбайтын бақылау әдістерін қолдану қажет. Давиденковтың дәстүрлі әдісі бөлшекті бұзуды талап етеді, бұл қымбат процесс екендігі аталып өтеді, ал қолданыстағы жабдықта рентгендік

құрылымдық талдау (бұзбайтын) жасау қозғалтқыш бөлшектерін жасау кезінде көптеген маңызды аймақтарды бақылауға мүмкіндік бермейді.

Ең маңызды және ғылыми-әдістемелік проблемалар болып ЖКД бөлшектерінің аса маңызды және күрделі аймақтары үшін бұзбайтын бақылау әдістерінің болмауы; бөлшектің беткі қабатының тереңдігі бойынша кернеулер эпюрасын анықтаудың бұзбайтын әдістерінің болмауы; әртүрлі әдістермен механикалық өңдеу және нығайту операциялары кезінде қалдық кернеулерді модельдеу әдістерінің болмауы табылады.

Жұмыстың мақсаттары мен міндеттері. Жұмыстың мақсаты – механикалық өңдеуден кейінгі қалдық кернеулерді, құрылымдық-технологиялық факторларды ескере отырып, олардың конструкция элементтерінің беріктігіне әсерін зерттеу.

Осы мақсатқа жету үшін келесі негізгі міндеттер тұжырымдалды:

- конструкция элементтеріндегі қалдық кернеулердің қалыптасу себептері мен жалпы заңдылықтарын талдау;

- құрылымдық-технологиялық факторларды ескере отырып, серпімді және серпімді-пластикалық деформация кезіндегі кернеу концентраторлары бар конструкциялардың үлгілік элементтеріндегі қалдық кернеулерді есептеу схемасын әзірлеу;

- Технологиялық түпнегізділігін ескере отырып, конструкциялардағы КДК және қалдық кернеулердің оның беріктігіне әсерін зерттеу.

Зерттеу әдістері. Жұмыс серпімділік теориясының классикалық әдістеріне және деформацияланатын қатты дененің механикасына негізделген. Сандық есептеу ANSYS, DEFORM-3D бағдарламалық-есептеу кешендерін қолдана отырып, ақырғы элементтер әдісі негізінде жүзеге асырылады.

Ғылыми жаңалық:

- Конструктивтік-технологиялық факторларды және жүктемелер тарихын ескерумен ерекшеленетін конструкциялар элементтердегі КДК және қалдық кернеулерді есептеу схемасы жасалды;

- кернеу концентраторлары бар бөлшектердегі технологиялық түпнегізділікті ескере отырып қалдық кернеулердің пайда болуының жалпы заңдылықтары анықталды;

- іске пайдалану сипаттамаларын ескере отырып, бөлшектерді дайындау кезіндегі конструктивті факторлардың және түрлі технологиялық операциялардың ықпалы анықталды;

- өтпелі қондырулармен байланысты сыни жүктемелер анықталды;

- жұқа қабырғалы бұйымдардағы қалдық кернеулерді анықтау әдістері ұсынылды.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы:

- әзірленген, қалдық кернеулердің әсерін ескеретін модельдер технологиялық процесті жобалау және әзірлеу сатысында беріктік сипаттамаларын нақтылауды қамтамасыз етеді;

- зерттеу нәтижелері өндірістің әртүрлі бөлшектерін дайындаудың сериялық технологиялық процестерін талдау және түзету үшін Алматы

қаласындағы "Жакен-Қалша" АҚ, "Қазэлектрпривод" ЖШС кәсіпорнында енгізілді;

- осы жұмыстың ғылыми зерттеулерінің нәтижелері технологиялық түпнегізділікті ескере отырып, конструкция элементтерін жобалау кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Зерттеудің әдіснамалық базасы

Жұмыста қолданылатын зерттеу әдістері машина жасау технологиясы, математикалық модельдеу, механизмдер мен машиналар теориясы, бөлшектерді жобалау негіздері және серпімді-пластикалық деформация теориясы сияқты ғылымдардың ережелеріне негізделген.

Диссертацияны метрологиялық қамтамасыз ету туралы мәліметтер

Диссертация тақырыбы бойынша зерттеулер "Массагет-Плюс" ЖШС, "Қазэлектрпривод" ЖШС (Алматы қ., Қазақстан Республикасы) базасында және Беруни атындағы Ташкент политехникалық университеті (Ташкент қ., Өзбекстан) базасында шетелдік тағылымдама барысында жүргізілді.

Әзірлеудің жоспарланған ғылыми-техникалық деңгейі, патенттік зерттеулер туралы мәліметтер және олардың қорытындылары механикалық өңдеуден кейінгі қалдық кернеулерді анықтау мәселесі бойынша әдеби шолуда жүргізілген патенттік іздестірудің толықтығымен, машина бөлшектеріндегі қалдық кернеулердің пайда болуы мен жойылуын зерттеудің қазіргі заманғы әдістемелерін әзірлеумен және таңдаумен айқындалады.

Қолда бар патенттік ақпаратты талдау негізінде механикалық өңдеу әдістері бойынша жаңа технологиялық және техникалық шешімдерді пайдаланудың тиімділігі қаралды. Диссертацияда материалдарды кесу арқылы механикалық өңдеу саласындағы ғылыми-техникалық проблеманың және патенттік зерттеулердің қазіргі жағдайын ғылыми талдау нәтижелері келтірілген.

Зерттеу нысаны.

Зерттеу нысаны –көп сатылы цилиндрлік редукторлар.

Зерттеу пәні.

Өтпелі қондыру қосылыстарында механикалық өңдеуден кейінгі қалдық кернеулердің әсері.

Қорғауға шығарылатын ережелер:

– дайындамадағы және жүктеме тарихындағы құрылымдық-технологиялық факторларды ескере отырып, кернеулерден машина жасау конструкцияларының типтік элементтеріндегі ҚДК есептеу схемасы;

– өтпелі қондырулары бар қосылыстардың кернеулі деформацияланған күйін есептеу нәтижелері.

Шындыққа сәйкестілік серпімділік теориясы және деформацияланатын қатты дененің механикасының классикалық әдістерін қолдануға негізделген; авторлық деректер мен бұрын қарастырылған тақырып бойынша басқа зерттеушілер алған деректерді салыстыру әдісі қолданылды; авторлық нәтижелердің осы тақырып бойынша тәуелсіз дереккөздерде ұсынылған нәтижелермен сапалы сәйкестігі анықталды.

Жұмысты апробациялау. Диссертациялық жұмыстың негізгі ережелері "Сәтбаев оқулары -2018" халықаралық ғылыми конференциясында (Алматы қ., 2017 ж.), Беруни атындағы Ташкент политехникалық университетінде (Ташкент қ., Өзбекстан), Қазақ қатынас жолдар университетінде баяндалды және талқыланды.

Жарияланымдар.

Диссертацияның негізгі нәтижелері БҒСБ ұсынған журналдардағы 3 мақаланы, Scopus индекстейтін журналдардағы 1 мақаланы, халықаралық конференциялар жинақтарындағы 3 мақаланы қоса алғанда, 7 баспа жұмыстарында көрсетілген.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, бес тараудан, негізгі қорытындылардан, әдебиеттер тізімінен және қосымшадан тұрады. Жұмыста 52 сурет пен 107 атаудан тұратын библиографиялық тізімді қамтитын 114 бет терілген мәтін бар.

1 ҚАЛДЫҚ КЕРНЕУЛЕРДІҢ ПАЙДА БОЛУ СИПАТЫ, ПАЙДА БОЛУ СЕБЕПТЕРІ, ҚАЛДЫҚ КЕРНЕУЛЕРДІҢ ЖІКТЕЛУІ ТУРАЛЫ МӘСЕЛЕНІҢ ЖАҒДАЙЫ

1.1 Құрылымдардағы қалдық кернеулердің анықтамасы және рөлі

Кез келген металл бұйымдарын өндіру технологиясы ретінде тек тиісті сападағы өнімдерді өндіруге кепілдік беретін машина жасау кезеңдерінің, операцияларының және әдістерінің жиынтығын түсіну керек. Бұл ретте сапа осы даму сатысында бар метрологиялық қамтамасыз етумен қажетті дәлдікпен өлшеу мүмкін болатын сандық көрсеткіштердің реттелетін жиынтығымен қатаң анықталуы керек.

Металлургиялық өнімдердің, атап айтқанда болат құбырлардың сапасының нашарлауына әкелген себептерді анықтау немесе оны жақсарту мүмкіндігін іздеу кезінде зерттеудің бірінші кезеңі ретінде бастапқы металл сапасының номиналдыдан металлургиялық ауытқуының әсерін анықтау қажет. Содан кейін бастапқы дайындамаларды термиялық өңдеу режимінің дұрыстығына көз жеткізу керек. Қысыммен өңдеу технологиясын зерттеудің екінші кезеңі деп атауға болады. Металл бұйымдарын деформациялау, термиялық өңдеу, өңдеу, сақтау және машина жасауда пайдалану кезінде пайда болатын қалдық кернеулерді зерттеу, әсіресе суық күйде жасалған металл бұйымдарының сапасының нашарлау себептерін анықтаудың үшінші кезеңі деп атауға болады.

Қалдық, алдын ала немесе технологиялық кернеулер - бұл конструкцияда не оның жеке элементтерінде сыртқы күш, жылу және басқа әсерлер болмаған кезде болатын кернеулер. Техникада қалдық кернеулерді белгілеу үшін нәтижесінде кернеу пайда болатын технологиялық процестердің атаулары да қолданылады: дәнекерлеу кернеулері, шынықтыру кернеулері, деформациялық кернеулер, түзету кернеулері немесе өңдеу өнімдері. Табиғатта және технологияда қалдық (алдын ала) кернеулер маңызды рөл атқарады. Адамзат олардың пайдалы қасиеттерін бұрыннан қолданып келеді. Материалдар мен конструкцияларда ішкі кернеу күйін шебер қолдану оларды жасаушыларға үлкен пайда әкелуі мүмкін.

Өкінішке орай, қалдық кернеулер біз қалағаннан гөрі жиі жағымсыз рөл атқарады. Техникада жоғары технологиялық кернеулерден болатын бұзылу мысалдары жеткілікті. Маңызды экологиялық зардаптары бар ең жиі кездесетін жағдайлардың бірі болып құбырлардың бұзылуы табылады, онда кейде ұзындығы бірнеше ондаған километрге дейін жететін жарықшақтар пайда болады. Құрылыс конструкцияларының кенеттен бұзылуы, автокөліктердің алдыңғы әйнегіндегі, және үлкен өлшемді телескоп айналарының қымбат дайындамаларында, хрустальды ыдыстарда жарықшақтардың пайда болуы және дамуы қоймада тыныш жағдайда жатқан шыны пештердің қабырғаларына арналған отқа төзімді блоктардың өздігінен бұзылуы. Көпшілігіміз бұл тізімді жалғастыра аламыз. Негізінде мұндай қымбат шығынды жою қалдық технологиялық кернеулерді және оларды реттеу әдістерін зерттеудің ғылыми бағытын тудырды [1].

Көбінесе металл өңдеу технологиясын жетілдіру қалдық кернеулермен күресуді қамтиды. Дегенмен, олардың екеуі де өнімнің эксплуатациялық қасиеттері үшін қауіпті болуымен қатар, металдың көптеген сипаттамаларын жақсартудың өте тиімді құралы болуы мүмкін. Бұйымдарда қалдық кернеулердің болуы деформацияға, коррозиядан болатын жарылғыштық, нәзік сынуға, материалдың серпімділік шегінің төмендеуіне, шаршау шегінің өзгеруіне және т.б. алып келуі мүмкін. Бұйымдарды ұзақ уақыт пайдаланбай ұстағанның өзінде өздігінен деформациялану байқалады. Беткі қабаттардағы созылу қалдық кернеулері ауыспалы жүктемелермен жұмыс істейтін металл бұйымдары үшін әсіресе зиянды, өйткені мұндай кернеулер тозғаннан бұзылуға ықпал етеді (шаршау сызаты, әдетте, өнімнің бетінде пайда болады). Қалдық кернеулердің зиянды әсері металдың жалпы химиялық белсенділігінің жоғарылауынан да көрінеді. Созылу кезіндегі қалдық кернеулердің әсерінен кристаллитаралық коррозияның күшеюі (жездің маусымдық шытынауы) әсіресе зиянды болады [2].

Сонымен қатар, [3] зерттеулердің нәтижесінде өнімдегі қалдық кернеулердің қолайлы таралуы олардың дірілге мен тозуға қарсы беріктігін арттыруға болатыны анықталды. Өнімдердің беті, әдетте, «ең әлсіз» аймақ болып табылады, сондықтан беттік қысу кернеулерінің пайда болуына және өсуіне әкелетін кез келген өңдеу өнімдердің эксплуатациялық қасиеттеріне дұрыс әсер етеді.

Демек, металл бұйымдарын өндірудің кез келген технологиясын жасау кезінде күш қалдық кернеулермен күресуге емес, оларды оңтайлы бақылауға, яғни кернеулердің өнімнің іске пайдалану қасиеттерін жақсартуға кепілдік беретіндей түрде таралу жолын табуға бағытталуы керек. Қалдық кернеулердің пайда болуының себептері алуан түрлі болғандықтан және деформациялар мен температуралардың өрістері біркелкі болмаған кезде, фазалық өзгерістер мен металдардың құрылымдық қайта орналасуы кезінде оларды өлшеу механизмдері аса күрделі болатындықтан, технологияларды мұндай оңтайландыру өте қиын екендігі сөзсіз [4].

Соңғы уақытта металдардағы механикалық, термиялық және химиялық өңдеулерден кейінгі қалдық кернеулер бойынша көптеген зерттеулер жүргізілді.

Алайда, жаппай металлургиялық өндіріс жағдайында алынған металл прокаттағы және әртүрлі мақсаттағы металл бұйымдарындағы қалдық кернеулердің мөлшері мен таралуы туралы деректер жоқтың қасы, ал кернеулердің болуы туралы қолда бар мысалдар өндіріс технологиясымен және іске пайдалану қасиеттерімен байланысты емес [5]. Деформацияланған металдағы қалдық кернеулердің көрінуіне бірінші болып 1836 жылы Биобер және Людерс назар аударды [6]. Кейінірек Гартман оны тәжірибе жүзінде көрсетті: жылтыратылған үлгіні созғанда немесе сығымдағанда, оның бетінде араластырылған сұйықтықтағы тор түрінде айқын шағылысқан жарықтар пайда болады. 1857 жылы құюды белгілі бір шарттармен жүзеге асырса және кейіннен салқындатса металда ішкі кернеулер пайда болатыны байқалды.

Ресейде бірінші болып Н.В.Калакуцкий шойын мен болаттағы қалдық кернеулерді зерттеді, ол өткен ғасырда-ақ қалдық кернеулер бұйымды бөлшектеген кезде оның бөліктерінің геометриялық өлшемдерінің өзгеруі арқылы көрінетінін атап өтті [7]. Қалдық кернеулердің ішкі көрінісі атомаралық қашықтықтардың өзгеруімен байланысты, оны рентгендік әдістермен анықтауға болады.

Қалдық кернеулердің ортақ қасиеті –олар пластикалық деформация нәтижесінде пайда болса да, әрқашан таза серпімді болады. Бұл кернеулер қалдық кернеулерге сәйкес серпімді деформациялардың төмендеуіне әкелетін жолдармен жойылуы немесе әлсіреуі мүмкін, кейіннен материалда жинақталған серпімді потенциалдық энергия жайылады. Бірақ бұл пластикалық деформациямен және жаңа қалдық кернеулермен қатар жүруі мүмкін [6, б 3-31].

Атомаралық қашықтықтардың өзгеруі туралы рентгендік мәліметтерді талдай отырып, Н.Н. Давиденков өнімдердегі қалдық кернеулерді үш түрге бөлуді ұсынады [8]:

1. Өлшемдері дене өлшемдерімен бірдей тәртіпте (макрोकөлемдерде) аймақтар ішінде теңестірілген бірінші түрдегі кернеулер.

2. Көлемдері бойынша теңестірілген, өлшемдері түйіршіктердің өлшемдерімен (микрোকөлемдерде) теңестірілген екінші түрдегі кернеулер.

3. Элементарлы кристалдық ұяшықтың өлшемдерімен бірдей ретті көлемдерде теңестірілген үшінші түрдегі кернеулер (субмикрোকөлемде).

Бірақ осыдан кейін 1959 жылы Н. Н. Давиденков өз жұмысында [9] кернеулерді бұлай бөлудің дұрыстығына күмән келтірді және қалдық кернеулерді олардың рентгендік көріністері бойынша, яғни екінші және үшінші типтегі кернеулер анықталатын белгілер бойынша жіктеу әрекетінен бас тартты. Шынында да, екінші немесе үшінші типтегі қалдық кернеулердің әсерінен оқшауланған элементтің тепе-теңдік моделі схемалық түрде ұсынылатын деформацияның үздіксіздігі шарттары қолданылған немесе деформациялар кернеулермен сандық түрде байланысқан жұмыс әлі жоқ.

Н.Н.Давиденковтың қалдық кернеулердің түрін бірегей түрде анықтайтын жіктеу белгісі тек кернеулер теңестірілген аумақтың өлшемі болуы мүмкін деген пікірімен келісе отырып, [10] авторлар «кернеу» терминін «бұрмалау» терминімен ауыстыруды, әсіресе екінші және үшінші түрдегі кернеулерге қатысты ауыстыруды ұсынды.

Кейде 4-ші түрдегі қалдық кернеу не жүктемесіз кернеулер деп аталатын кернеулер де қарастырылып жатады. Бұл әртүрлі фазалардың жылулық кеңею коэффициенттерінің теңсіздігінің салдарынан және ыстық және суық деформациядан кейін металл бұйымдарын салқындату процесінде пайда болатын кернеулер. Оларды 2-ші түрдегі кернеулер деп қарастырған дұрыс болар еді, өйткені олар түйір өлшемдерімен бір ретті көлемдерде теңестіріледі және басқа түрдегі кернеулерден (қатайту немесе қатаю) қайтымдылығымен ерекшеленеді [9, б 318-319].

Бірінші түрдегі қалдық кернеулер біркелкі емес салқындату немесе қыздыру, қатаю немесе фазалық және құрылымдық өзгерістер әсерінен пайда

болады. Бұл кернеулер сыртқы жүктемелердің әсерінен металдың қасиетіне және оның көптеген механикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді.

Екінші түрдегі кернеулердің пайда болуы туралы мәліметтерді Г.Ф.Косолаповтың [11] дәлелдерінен алуға болады. Қатар орналасқан поликристалды үлгідегі екі кристалл бір-біріне және әсер етуші күштің бағытына қатысты әрқашан әртүрлі бағытталған. Үлгінің пластикалық деформациясы кезінде және оның жүктемесін алып тастағаннан кейін кейін бұл кристалдарда анизотропияға байланысты әртүрлі қалдық деформациялары болады. Кристаллдар арасында өзара байланыс болғандықтан, олардың біреуі серпімді түрде созылады, ал екіншісі қысылады. Сәйкесінше, олардың арасында ішкі кернеулер пайда болады, бұл атомдық тордағы жазықаралық қашықтықтардың өзгеруіне әкеліп соғады. Бірақ деформация тек жеке кристалдарда ғана емес, сонымен қатар жеке блоктарда, егер олар серпімді түрде иілгіш болса, блоктың әртүрлі бөліктерінде де біртекті болуы мүмкін.

2-ші түрдегі қалдық кернеулердің пайда болуының физикалық механизмі және олардың поликристалдардың деформациясына әсері [12] жұмыста толығырақ қарастырылған.

Пластикалық деформацияның дамуының бастапқы кезеңін зерттегенде немесе кернеулердің біркелкі емес таралуы жағдайында деформацияның таралуын зерттегенде (мысалы, иілу кезінде, бұралу кезінде немесе ойық үлгілерді сынау кезінде) деформациялар металдың негізгі бөлігінде біркелкі бөлінбеген болып шығатыны анықталды. Металдың беткі қабаттарында айтарлықтай кернеу градиенті болған кезде, деформацияның бірдей шамасында кейбір аймақтарда дамыған пластикалық деформация пайда болатынын, ал іргелес аймақтарда материал әлі де болса серпімді күйде болатынын байқауға болады. Салыстырмалы ұзарудың немесе салыстырмалы ығысудың жергілікті мәндерінің айырмашылығы бір реттік немесе одан да көп шамадағы мәндерге жетуі мүмкін [13].

Пластикалық деформациялардың концентрациясы максималды ығысу кернеуінің $\tau_{\max} = 1/2\sigma_{\max}$ бағытына қатысты белсенді сырғанау жазықтықтарының еңісіне байланысты.

Алайда, деформациялар шамасының айырмашылығы тек кристаллографиялық жазықтықтардың бағдарлануындағы айырмашылықпен түсіндірілсе, онда алғашқы пластикалық деформациялардың пайда болу нүктелері үлгінің бетінде ерікті таралатын еді, онда бірдей максималды макрокернеу σ_{\max} беттің барлық нүктелерінде әрекет етеді. Іс жүзінде бұл процестің бастапқы кезеңінде, пластикалық деформация пайда болған кезде ғана байқалады.

Кейінірек үлгі деформацияларының дамуы кезінде пластикалық деформация аймақтарының қатаюының белгілі бір дәрежесі байқалады, бұл кеңейту деформациясының аймақтарының өзара әрекеттесуімен және үлгі көлеміндегі энергияның таралуымен байланысты. Бұл әрекеттесу деформацияланған аймақтың маңайындағы жекелеген түйіршіктер мен олардың топтары шегінде әрекет ететін екінші түрдегі ішкі кернеулердің көрінісімен

жүзеге асады. Осыған сәйкес қарастырылатын металл қабатының жалпы макродеформациясы мына формуламен өрнектеледі:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{nl} i \sigma + \varepsilon_{ypr} (1 - i \sigma) \quad (1.1)$$

мұндағы i - 1 см-дегі бет ұзындығының пластикалық аймақтардың саны δ – әрекет етуші кернеу бағыты бойынша осы аймақтардағы өлшемі.

Немец А. қалдық кернеулердің пайда болу механизмін жалпы сыртқы жүктемемен жүктелген бір нүктеде қосылған өзектер жүйесімен ұқсастықпен талдайды [13, б136]. Әрине, өзектердегі созылу күштері бірдей емес. Екінші жағынан, поликристалды материалдың негізгі бөлігінде оқшауланған қарастырылып отырған үш аймақ бірдей кернеуде жұмыс істейді, бірақ пластикалық деформацияға әртүрлі қарсылық көрсетеді. Өзектер бірдей материалдан жасалған және бірдей аққыштық шегіне ие.

Дегенмен, бір түйір өлшемінің тәртібінің шағын көлемдерінде әрекет ететін ішкі кернеулерді қарастырғанда, сипатталған модель нақты материалда орын алатын күштердің байланысын жеткілікті түрде дұрыс көрсетеді. Жүйенің ортаңғы өзегі ең үлкен жүктемені көтереді және пластикалық деформация ең алдымен сол жерде пайда болады, ал басқа өзектерде әлі де тек серпімді деформация болады. [14]

Сыртқы жүктемені алып тастағаннан кейін, бүйірлік өзектер бастапқы ұзындығына дейін қысқаруға бейімделеді және ортаңғы өзекті қыса бастайды. Бұл кезде бүйірлік өзектерде жүйеде қалдық кернеу рөлін атқаратын созылу кернеуі пайда болады. Деформацияға төзімділігі әртүрлі аймақтардан тұратын қатты денеде қалдық кернеулеріне ұқсас түрде таралады.

Сыртқы жүктемеден болатын кернеулер қалдық кернеулер сияқты таралады, бірақ қарама-қарсы таңбаға ие. Пластикалық деформацияның әрбір кеңейетін тар аймағы іргелес аймақтардағы пластикалық деформацияға қарсы әрекет етеді.

Сыртқы жүктеменің жоғарылауымен қалдық кернеулердің мәндеріндегі сипатталған айырмашылық бірте-бірте азаяды және пластикалық деформация кезінде кернеудің таралуы біркелкі болады. Деформациялық қатайту кезінде жеке түйіршіктердің немесе олардың топтарының қаттылығы одан әрі пластикалық деформацияға төзімділігінің бір мезгілде жоғарылауымен бірге жоғарылайды.

Осылайша, пластикалық деформацияның басында макрокернеулердің таралуы біркелкі болады, бірақ деформациялардың таралуы біртекті бола бастайды. [15]

Жоғарыда айтылған ойлар екінші түрдегі қалдық кернеулерді зерттеуге қатысты. Бұл кернеулердің бағыттары дәндердің немесе олардың топтарының деформацияларымен анықталады. Баушингер алдымен созылу, содан кейін қысу жүктемесі арқылы жүктелген металл үлгілерінің сипаттамасын зерттеп, жүктің белгісі өзгергеннен кейін материалдың серпімділік шегі айтарлықтай төмендейтінін анықтады. Баушингер эффектісі деп аталатын бұл құбылысты

түсіндіру екінші текті қалдық кернеулердің рөлін талдаумен байланысты болды.

Үш өзектік жүйеге оралсақ, пластикалық созылу деформациясы орын алған ортаңғы өзекшеде сыртқы жүктемені алып тастағаннан кейін қалдық қысу кернеуі әрекет ететінін көруге болады. Енді жүйеге қарама-қарсы таңбалы жүктемені қолданатын болсақ, онда сыртқы жүктемеден ортаңғы өзекшедегі қысу кернеуі алдыңғы жүктеу циклінен кейін қалған қалдық қысу кернеуіне қосылады. Осыны ескере отырып, ортаңғы өзекшеде пластикалық макродеформациялар жүйесінің пайда болуы үшін ең үлкен қосымша кернеулерді тудыратын шағын сыртқы жүктеме жеткілікті. [16]

Осылайша, поликристалды металда пластикалық деформацияның дамуы кезінде аймақтардың, түйіршіктердің және астыңғы бөлшектердің шекараларында әртүрлі типтегі кернеулердің шоғырлануы пайда болады. Сыртқы жүктемені алып тастағаннан кейін қалдық кернеулер пайда болады, олар ауыспалы жүктеме жағдайында материалдың жергілікті пластикалық деформацияға төзімділігіне кері әсер етеді.

Поликристалды денеге сыртқы жүктемелерді түсірудің жалпы жағдайында түйірлердің әрқайсысы бірдей емес деформацияға ұшырайды және әртүрлі түйіршіктердегі катаю әртүрлі болып шығады. Сыртқы жүктемені алып тастағаннан кейін деформацияланған түйірлерде қарама-қарсы таңбалы қалдық кернеулер пайда болады (бұл жағдайда қысу кернеулері).

Металлдың пластикасы неғұрлым жоғары болса, дене көлемінің әртүрлі аймақтарындағы қалдық кернеулердің концентрациясы соғұрлым аз болады. Түйіршік деформациялары біркелкілеу, ал үлкен деформацияларда Баушингер эффектісі аз байқалады. Мысалы, аустениттік болатта пластикалық деформация аймақтарының пайда болуы және олардың серпімділік күйінде материалдың қоршаған көлеміне таралуы соншалықты айқын көрінбейді.

Г.Ф.Косолаповтың пікірінше, үшінші түрдегі кернеулер атомдар потенциалдық кедергілерден өткенде, яғни атомаралық қашықтықтың жартысынан кем емес арақашықтықта қозғалғанда пайда болады [17]. Олар кристалдық құрылымды бұзады және металдардың пластикалық деформациясының қайтымсыз сипатына жауап береді, бұл кезде ішкі энергия мынадай шамаға артады:

$$\Delta U = \delta A - \delta Q \quad (1.2)$$

мұндағы δA – деформация кезіндегі сыртқы күштердің жұмысы, δQ – пластикалық деформацияланған денеде бөлінетін жылу.

Н.Н.Дэвиденков енгізген классификация қазіргі уақытта да кеңінен қолданылады.

Е.Орован мен К.В.Мак-Грегор ұсынған классификациялар толық емес және дәл емес, өйткені оларға сәйкес қалдық кернеулер тек екі топқа бөлінеді: макро- және микро кернеулер [18].

Қалдық кернеулердің пайда болуының негізгі себебі –көлденең қимадағы біркелкі емес суық деформация нәтижесінде пайда болатын материалдың пластикалық деформациясының біркелкі еместігі, қыздыру немесе салқындату кезінде температураның біркелкі бөлінбеуі және фазалық өзгерістердің біркелкі болмауы. Металл қалыптаудың барлық технологиялық процестері (соғу, штамптау, илемдеу, тарту, престоу) қимада біркелкі емес пластикалық деформациямен жүреді. Кейбір металл қабаттары басқаларға қарағанда көбірек созылады, ал жүктемені алғаннан кейін оларда қысудың қалдық кернеулері пайда болады, ал басқаларында, яғни аз деформацияланатын қабаттарда созылудың қалдық кернеулері пайда болады. Қысыммен ыстық өңдеу кезінде деформациялардың біркелкі емес өрісіне өнімдерді салқындату кезінде пайда болатын біртекті емес температуралық өріс салынады.

Көлденең қима бойынша температураның біркелкі емес таралуы металдағы біркелкі емес фазалық өзгерістерге әкелуі мүмкін, бұл әртүрлі меншікті көлемдерде жоғары қалдық кернеулерге әкеледі.

Осылайша, металдарды қысыммен ыстықтай өндегеннен кейін қалдық кернеулердің күрделі жүйесі пайда болады, олардың шамасы мен таралу сипаты жоғарыда аталған факторлардың барлығымен анықталады.

Фазалық түрлендірулердің әрекетінен туындайтын қалдық кернеулерді анықтау өте қиын, өйткені олар әрқашан біркелкі емес температура өрісінің болуымен және соның нәтижесінде термиялық қалдық кернеулермен байланысты [19].

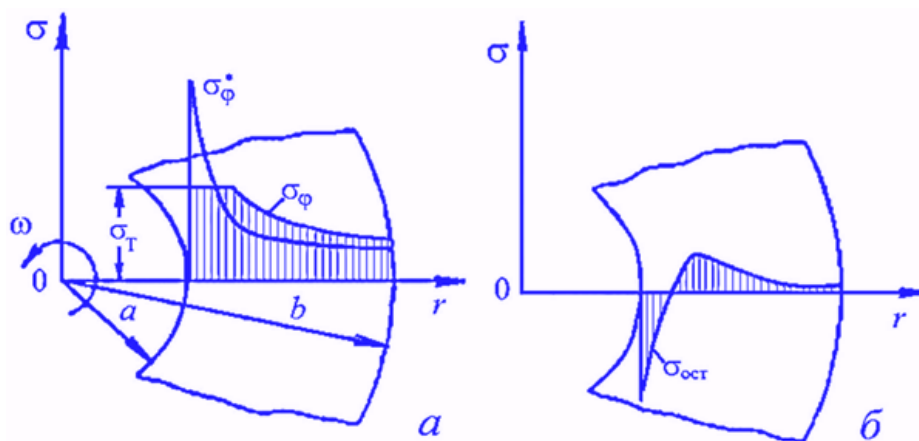
Металл денелердегі қалдық кернеулердің пайда болу және өзгеру механизмдерін И.А.Биргер барынша егжей-тегжейлі қарастырған [7, б 163].

Әртүрлі технологиялық процестерде қалдық кернеулердің пайда болуы әртүрлі жолдармен жүреді. Олардың пайда болуы әдетте материалдағы қайтымсыз көлемдік өзгерістерге негізделген. Әдеттегі процестердің бірі – пластикалық дейінгі деформация нәтижесінде қалдық кернеулердің пайда болуы. Көбінесе бұл деформация денелерді қыздыру немесе салқындату арқылы алынады.

Физикалық тұрғыдан алғанда, пластикалық деформациядан кейін қалдық кернеулердің пайда болуы қайтымсыз (қалдық) көлемдік өзгерістермен байланысты. Жүктеме жойылғаннан кейін қалатын бұл көлемдік өзгерістер қалдық кернеулерді тудырады.

Мысалы, дискіде (1.1а-суретті қараңыз) саңылаудың жанында үлкен бұрыштық жылдамдықпен айналу кезінде кернеулер аққыштық шегінен асып түседі және қалдық созылу деформациясы пайда болады. Тоқтағаннан кейін дискінің барлық бөлшектері бастапқы шеңберлеріне оралуға бейім (серпімді материалдың қасиеттері) және тесік аймағында қысу қалдық кернеулері пайда болады (1.1, б-суретті қараңыз).

Пластикалық деформациялардан кейінгі қалдық кернеулерді анықтау түсіру теоремасы негізінде жүзеге асырылады. Генки алғаш айтқан осы теоремаға сәйкес қалдық кернеулер серпімді-пластикалық денедегі шынайы кернеулер мен материалдың идеалды серпімділігі шартында пайда болатын кернеулер арасындағы айырмашылыққа тең.



Сурет 1.1 - Дискінің пластикалық деформациясынан кейінгі айналмалы қалдық кернеулер

Түсіру теоремасы келесі ойларға негізделген [20]. Денеге сыртқы күштер жүйесі қолданылсын және онда қарапайым жүктеме процесінде серпімді-пластикалық деформациялар пайда болсын (берілген нүктедегі кернеулер бір параметрге пропорционалды өседі). Түсіруден кейін процесі қарама-қарсы бағыттағы күштермен жүктеу ретінде көрсетуге болады. Бұл жүктеме кезінде дене серпімді болып әрекет етеді. Қалдық кернеулер (екі жүктеу процесінен кейін – тура және кері бағытта) бірдей жүктемелер кезінде эластопластикалық денедегі және серпімді денедегі кернеулер арасындағы айырмашылыққа тең болады. Егер түсіру процесінде қайталанатын пластикалық деформациялар болмаса, теорема жарамды болады.

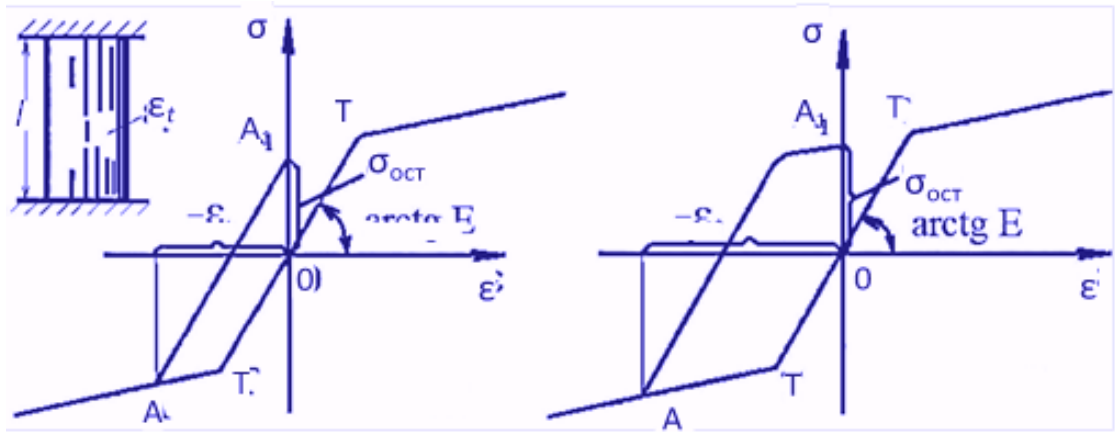
Түсіру теоремасына сәйкес, қалдық кернеулер эпюрасы (еркін қима үшін) әрқашан өздігінен теңестіріледі, яғни теңәрекет ететін күштер мен моменттер нөлге тең.

Сондай-ақ, егер серпімді пластикалық және серпімді денедегі кернеулердің таралуы бірдей болса (статикалық детерминацияланған жүйелерде бұл көп кездеседі), пластикалық деформациядан кейін қалдық кернеулер пайда болмайтынын да ескерген жөн. Мысал ретінде a өзекті осьтік күшпен созуды немесе ішкі қысыммен жұқа қабырғалы цилиндрді созуды келтіруге болады.

Кейбір процестерде, мысалы, роликтермен өңдеу кезінде, қолайлы қалдық кернеулерді жасау үшін біртекті емес пластикалық деформация әдейі жасалады.

Ақырында пластикалық деформация бөлшектерді қарқынды қыздыру немесе салқындату кезінде елеулі термиялық кернеулерде орын алады және болашақта қыздырудан немесе салқындатудан кейінгі қалдық кернеулердің пайда болу процесін қарастырамыз.

Қыздыру немесе салқындату кезінде қалдық кернеулердің пайда болуының негізгі ерекшеліктері абсолютті қатты жазықтықта ұштарымен ендірілген өзекшенің қарапайым мысалында көрсетілген (1.2-сурет).



Материалдың механикалық қасиеттері қарастырылып отырған температура аралығында тұрақты болып қалады: а-қалдық кернеулер серпімді деформациялар кезінде пайда болады; б-қалдық кернеулер қайталама пластикалық деформациялар болған кезде пайда болады

Сурет 1.2 - Өзекшені қыздыру кезінде қалдық кернеулердің пайда болуы

Жазықтықтар арасындағы қашықтық өзгеріссіз қалады. Бұл жазықтықтар (идеалданған түрде) құрылымның температураға ұшыраған бөліктерін көрсетеді.

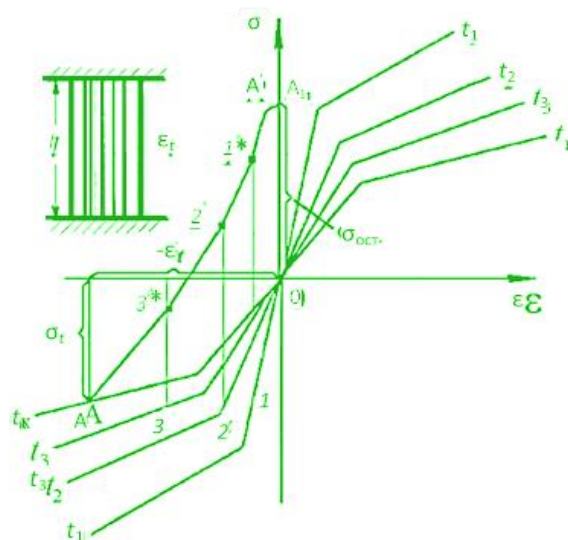
Егер өзекше t температураға дейін қыздырылса, онда $\sigma = -E\varepsilon_t$, термиялық кернеулер пайда болады, мұндағы ε_t – температуралық деформация;

$$\varepsilon_t = \int \alpha^*(t_1) dt_1 \quad (1.3)$$

Соңғы теңдікте $\alpha^*(t_1)$ – ағымдағы температура, $0 \leq t_1 \leq t$ температурасындағы желілік кеңеюдің шын коэффициенті. Егер қыздыру процесі кезіндегі температуралық кернеулер материалдың аққыштық шегінен жоғары болса, онда жылуды алып тастағаннан кейін өзекшеде қалдық кернеулер қалады. [21]

1.2-суретте қыздырудан кейінгі қалдық кернеулерді анықтаудың графикалық әдісі келтірілген, бұл жағдайда механикалық қасиеттер қыздыру процесінде іс жүзінде тұрақты болып қалады. Температуралық деформацияның мәні абсцисса осі бойымен сызылады, қарсы таңбамен A нүктесі қыздыру соңындағы өзекшенің кернеуін сипаттайды. Қыздыру жойылған кезде деформациялар мен кернеулер түзу AA_1 бойымен өзгереді; $0A_1$ сегменті қалдық кернеулерді өрнектейді. ε_t үлкен мәндерінде (1.2, б-суретті қараңыз) түсіру процесінде қайталанатын пластикалық деформациялар түзіледі.

Материалдың механикалық қасиеттері қыздыру және салқындату кезінде өзгерген кезде айтарлықтай қыздырудан кейінгі қалдық кернеулерді анықтау қызығушылық тудырады. Жылыту t_1 -ден t_k -ға дейін жүргізілсін. 1.3-суретте көрсетілген және екі аралық температуралар үшін деформация қисығы көрсетілген. [21]



Сурет 1.3 - Материалдың механикалық қасиеттерінің өзгеруін ескере отырып, қыздыру процесінде температуралық кернеулерді анықтау

Бастапқыда термиялық кернеулердің өсуі 01 қисық бойымен жүреді, температура одан әрі жоғарылаған кезде 02 қисығына «секіру» пайда болады (материалдың қасиеттері «секірмелі» түрде өзгереді деп есептеледі). Қыздырудан кейінгі температура кернеуі сан жағынан A нүктесінің ординатасына тең.

Салқындату процесі қарастырылады. Температура t_k -дан t_3 -ке дейін төмендеген сайын, температура кернеулері 0 A қисығының бастапқы кесіндісіне параллель $A3^*$ түзу сызығы бойымен төмендейді. Температура t_3 -тен t_2 -ге дейін төмендегенде, кернеулер 03 қисығының бастапқы кесіндісіне параллель $3^*2'$ түзу бойымен өзгереді. A' нүктесінде қалдық кернеулер аққыштық шегіне жетеді және қалдық кернеулердің одан әрі өсуі аз болады.

Қалдық кернеулерді анықтаудың жоғарыда келтірілген әдісінде қыздырудың немесе салқындатудың әрбір кезеңі үшін осы температураға тән

$\sigma = f(\varepsilon)$ тәуелділігі жарамды, әрі бір деформация қисығынан екіншісіне өту жалпы деформация тұрақты болатын кезде жүзеге асырылады деген қарапайым болжам пайдаланылады. Қарқынды қыздырудан кейін қалдық кернеулердің пайда болуының маңызды ерекшелігін атап өтеміз. Қыздыру процесі кезінде материалдың аққыштық шегінен (серпімділіктен асатын термиялық деформация) асатын термиялық қысу кернеулері пайда болады. Нәтижесінде материалда қысудың қалдық пластикалық деформациясы қалыптасады. Жылуды алып тастағаннан кейін бөліктің өлшемдері бұрынғыларына оралады, бірақ қалдық қысу деформациясының болуы қалдық созылу кернеулерінің пайда болуын тудырады. [23]

Жоғарыда қыздырудан немесе салқындатудан кейінгі қалдық кернеулер туралы мәселені қарастырған кезде тек жалпылама «температура» деформациясы ескерілді.

Көптеген жағдайларда фазалық және құрылымдық түрлендірулермен байланысты материалдағы нақты көлемдік өзгерістерді ескеру қажет, олар тек температурамен ғана емес, уақыт сияқты процестің басқа параметрлерімен де

анықталады. Нақты қыздыру немесе салқындату процестерін есептеу кезінде температураның таралуы уақыт бойынша айтарлықтай өзгертінін де есте ұстаған жөн.

Кейбір қыздыру (немесе салқындату) жағдайында жүктеу және жүктемені алу процестері (берілген нүктеде) қайталануы мүмкін. Температураның өзгеруіне байланысты деформация қисықтарының өзгеруін де ескеру қажет. Металдарды термиялық өңдеуден туындайтын қалдық кернеулерді анықтау кезінде де осындай сұрақтар туындауы мүмкін.

Термиялық өңдеу кезінде бөлшектің беткі қабаттарында қалдық кернеулер пайда болады. Сығымдаушы қалдық кернеулер төмен температураға дейін қыздырғаннан кейін жылдам салқындату арқылы (мысалы, конструкциялық болаттан жасалған бөлшектерді 600 ° С дейін қыздырып, суда салқындату кезінде) жасалуы мүмкін [24].

Эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, термиялық өңдеуден кейінгі қысу қалдық кернеулері кернеу концентраторларыңыз бөлшектердің шаршауға төзімділігін 10...30% және кернеу концентраторларымен бөлшектердің төзімділігін 50...80%-ға арттырады.

Жоғары жиілікті токтармен беттік шындау кезінде әдетте беткі қабаттарда қысушы қалдық кернеулер пайда болады, олар кернеуді концентрациялаумен бөлшектердің төзімділігін (керумен орналастырылған кезде 70 ... 200%-ға) арттырады.

Шынықтырылған қабаттың бұзылу аймақтарында, мысалы, біліктердің галтерльдерінде қалдық созылу кернеулері пайда болады, бұл жерлердегі біліктердің тозуға кедергісі 20 ... 30%-ға төмендейді төмендейді. Бұл аймақтар беттік шындағаннан кейін нығайтып отыру керек (роликпен немесе бөлікпен).

Бөлшектердің беткі қабаттарындағы қысушы қалдық кернеулері цементациялау, азоттау және цианидтеу кезінде пайда болады. Егер химиялық-термиялық өңдеуден кейін беттерді тегістеу кезінде қалдық кернеулер (әдетте созылу кернеулері) туындамаса, онда бөлшектердің шаршауға төзімділігі артады.

Химия-термиялық өңдеуге және кейіннен тегістеуге ұшыраған беттерді өңдеу ауыспалы жүктемелер кезінде бөлшектердің көтеру қабілетіне қолайлы әсер етеді, өйткені бөлшектердің беткі қабаттарының қасиеттерін тұрақтандырады (ұнтақтау кезіндегі кейбір ақаулар мен созылу кернеулерін жояды).

Беттік қабаттардағы қалдық кернеулер гальваникалық жабындарды жағу кезінде де пайда болады. Никельмен қаптау кезінде бөлшектердің төзімділік шегін 10 ... 30% төмендететін созылу қалдық кернеулері пайда болады (жоғары мәндер беріктігі жоғары болаттарға қолданылады). Беріктіліктің біршама аз төмендеуі хромдау және мыс жалату жағдайында байқалады. Мырыш, кадмий және күміс жабындарын қолданған кезде бөлшектердің шаршауға төзімділігі өзгермейді.

Жергілікті қыздыру және металдың біркелкі кеңеюі нәтижесінде дәнекерлеу кезінде дәнекерлеу кернеулері мен деформациялар пайда болады. Дәнекерленген бұйымдағы кернеулер ішкі өздігінен кернеулер санатына

жатады, өйткені олар сыртқы әсерлерді қолданбай-ақ болады. Дәнекерлеу кезінде ішкі кернеулер мен деформациялардың пайда болу себебі –құю өндірісінің шөгуі және жік металында және тігіс маңы аймағындағы екіншілей құрылымдық өзгерістер. Дәнекерлеу ваннасын салқындату және оның кристалдануы кезінде металдың көлемінің азаюымен байланысты құйма шөгуі бойлық және көлденең бағытта қысу күштерін тудырады. Ішкі кернеулердің өсуіне құрылымдық өзгерістердің әсері әсіресе беріктігі жоғары шындалатын қорытпаларды дәнекерлеуде айқын көрінеді [25].

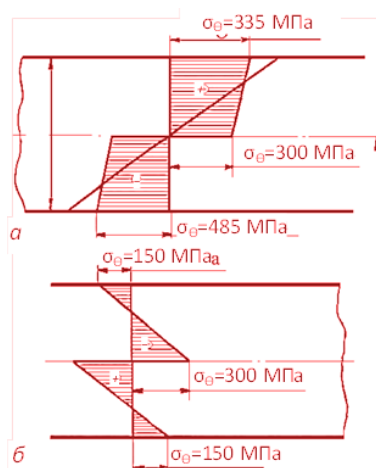
Кернеулер мен деформацияларды уақытша (дәнекерлеу кезінде біркелкі емес қыздырудан туындайтын) және қалдық (өнім толық суығаннан кейін сақталады) деп бөлуге болады. Дәнекерленген металдың әртүрлі қалыңдығында қалдық кернеу өрістерінің үш түрі байқалады: бір осьті (қалыңдығы аз металда), екі осьті (қалыңдығы орташа металда) және үлкен қалыңдықтағы металға тән үш осьті (көлемдік).

Әсер ету бағыты бойынша қалдық кернеулер бойлық (дәнекерлеу осіне параллель бағытталған) және көлденең (дәнекерлеу осіне перпендикуляр) болып бөлінеді. Дәнекерленген қосылыс металының әртүрлі қабаттары үшін олар шамасы бойынша да, белгісі бойынша да (созылу және қысу) ерекшеленеді. Дәнекерленген құрылымның деформациялары бойлық немесе көлденең (дәнекерлеу осіне қатысты) қысқару, сонымен қатар иілу түрінде көрінеді, бұл бұрыштық деформациялардың пайда болуымен байланысты, бұл өз кезегінде иілуге әкеледі.

Барлық жағдайларда металды түсіргеннен кейін суық, жылы, тіпті ыстық пластикалық деформациядан кейін қалдық кернеулер пайда болады. Олардың пайда болуының негізгі себептері болып деформациялар мен температуралардың көлемдерінің біртекті емес таралуы табылады. Нақты ОМД процестерінде олардың біртектілігін қамтамасыз ету іс жүзінде мүмкін емес. Серпімді пластикалық деформацияның салыстырмалы түрде қарапайым сұлбаларында, мысалы, суық күйдегі жазық иілуде, жеткілікті үлкен қалдық кернеулердің пайда болуын болдырмау мүмкін емес. Мысалы, жұмыста [26] қалдықтың пайда болу механизмі сипатталған және майыстырған кезде қаңылтырдың қалыңдығы бойынша қалдық кернеулердің бөлінуі сипатталған. 4-суретте қалыңдығы 12 мм қаңылтыр дайындамасын Ст3-тен ішкі радиусы 640 мм қабықшаға майыстыру жағдайы үшін қалдық тангенциалды кернеулердің таралуы көрсетілген.

Аксиалды кернеулер ұқсас үлестірімге ие, бірақ шамасы екі есе аз.

Бухтаға орау арқылы сүйреу кезінде құбырлардың қисық деформацияларынан қалдық кернеулердің қалыптасу механизмі де дәл осындай[27]. Бухтаға орау арқылы сүйреу жағдайында құбырбы барабанға ораған кезде қосымша деформация пайда болады, онда өнімнің көлденең қимасының формасының бұрмалануы пайда болады. Сопақтану мөлшері технологиялық тұрғыдан да, дайын өнімге арналған нормативтік құжаттардың шарттары бойынша да шектелуі керек. Егер құбыр шегенделген күйде жеткізілсе, онда оны пайдалану шарттары қалдық кернеулер деңгейіне де байланысты болады.

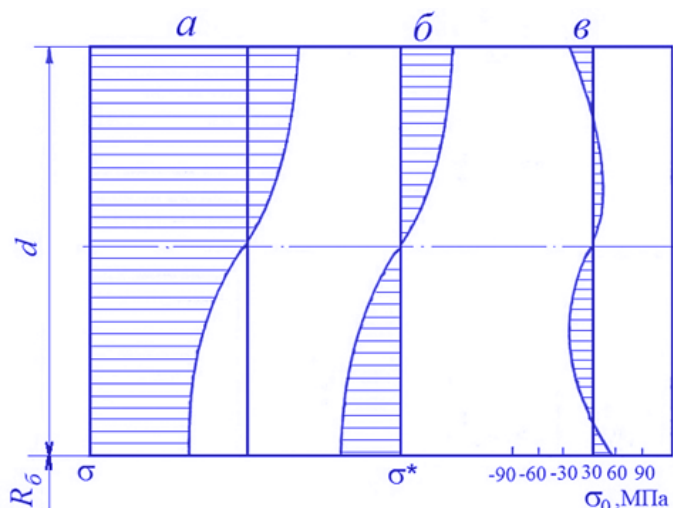


а-иілу моментінің әрекеті кезінде кернеулердің бастапқы таралуы; б-серпімді түсіруден кейін қалдық кернеулердің таралу сипаты

Сурет 1.4 - Вальцовка кезіндегі қалдық кернеулер

Көлденең қимадағы кернеулердің таралу эпюралары келесі ретпен өзгереді. Құбырдың артқы ұшы матрицадан шыққан кезде тарту кернеуі жоғалады. Бастапқыда белгілі бір заңға сәйкес қимада бөлінген иілу кернеулері құбырдың кеңеюін тудыратын ішкі нәтиже моментін құрайды. Иілуден болатын деформациялар азаяды және белгілі бір мәнге жеткенде бухта диаметрінің мәні үлкен болған кезде қимада тепе-теңдік орнатылады. 1.5- суретте процестің әртүрлі кезеңдерінде модельдеу арқылы алынған кернеулердің құбырдың көлденең қимасында таралуының схемасы келтірілген:

- сүйреу процесі аяқталған сәтте;
- құбырды жайып тегістеу алдында;
- құбырды жайып тегістеуден кейін.



а-сүйреудің аяқталу сәті; б-құбырды жайып тегістеу алдында; в-қалдық кернеулердің эпюрасы

Сурет 1.5 - Бухтаға орау арқылы сүйрегеннен кейін құбырдың қимасындағы қалдық кернеулерді анықтау

Қалдық кернеулер эпюрасы үлкен құбыр диаметрлері үшін деформацияға төзімділік мәнінің 40%-на дейін жететін сандық мәндерге ие болуы мүмкін. Құбырларды әрі қарай дұрыс агрегаттарда түзету көлденең қимадағы кернеудің таралу үлгісін өзгертуі мүмкін.

Композиттік материалдардағы қалдық кернеулер сол немесе басқа комбинацияда әрекет ететін үш негізгі фактордың нәтижесі болып табылады: оларды жасау кезіндегі біркелкі емес пластикалық деформация, құрамдас бөліктердің жылулық кеңею коэффициенттеріндегі айырмашылықтар және ішкі құрылымдық өзгерістер. Егер бұл материалдарда пайда болатын қалдық кернеулерді есепке алмасақ, онда матрицаның талшықтармен нығаюын реттейтін заңдылықтар туралы қате түсініктер туындауы мүмкін [28].

Композиттік материалдардағы қалдық кернеулерді зерттеу туралы жарияланған ақпарат өте шектеулі.

1.2 Металл бөлшектердің эксплуатациялық қасиеттеріне қалдық кернеулердің әсері

Қалдық кернеулер өнімді өңдеу, пайдалану, тіпті қоймада сақтау кезіндегі оның қасиеттеріне әсер етеді [2, б 245].

Қалдық кернеулер алгебралық түрде жұмыстық, сырттан салынған кернеулермен біріге отырып, оларды күшейтуі немесе әлсіретуі мүмкін. Әдетте, созылу кезіндегі қалдық кернеулер ең қауіпті болып табылады, өйткені олар сыртқы жүктемелерден болатын созылу кернеулерімен бірігіп, бұл жүктемелер аз болса да жойылуға әкеледі.

Үш осьтік керілудегі созылу кернеулері әсіресе қауіпті. Өзіміз білетіндей, үш осьтік кернеудегі кернеу күйі ең «қатаң» болып табылады, өйткені пластикалық ағынды тудыратын ығысу кернеулері өте аз немесе нөлге тең, нәтижесінде сынғыш және сыну үшін қолайлы жағдайлар жасалады. Қалдық кернеулер икемділігі төмен қорытпалардан жасалған бұйымдарда және температураның төмендеуінен сынғыш болып кететін бұйымдарда да ерекше қауіпті.

Жоғары қалдық кернеулер кезінде бұзылу көбінесе шамалы шамадағы жүктемелерде (әсіресе соққы жүктемелерінде) орын алады. Мысалы, болат құймаларындағы жарықтар пневматикалық балғамен тазарту кезінде, тіпті қысқы өтпе желден де пайда болуы мүмкін (қалдықтарға термиялық кернеулердің қосылуына байланысты). Иілгіштігі төмен алюминий қорытпаларынан жасалған жартылай үздіксіз ірі құймалары құю аяқталғаннан соң біраз уақыттан кейін кездейсоқ шағын соққылардан жойылуы мүмкін; Сыну кезінде бөлінетін серпімді энергияның үлкендігі сонша, салмағы жүздеген килограмм құйманың бір бөлігі күшті жарықшақпен үзіліп, бірнеше метр қашықтыққа ұшып кетеді.

Дәнекерленген конструкциялардағы қалдық созылу кернеулері кейде ауыр апаттарға әкеледі. Дәнекерленген көпірлердің және толық дәнекерленген кемелердің бұзылуы көбінесе бұзуға алып келетін үлкен қалдық кернеулердің көрінісімен байланысты. Толық дәнекерленген кемелердің палубаны мұздан

тазарту кезінде сүйменмен ұрып қалу сияқты маңызсыз сыртқы факторлардың әсерінен бұзылған жағдайлар да кездеседі.

Беттік қабаттардағы созылу кезіндегі қалдық кернеулер, әсіресе, ауыспалы жүктемеде жұмыс істейтін бөліктерге зиянды әсер етеді, өйткені мұндай кернеулер тозу нәтижесіндегі бұзылуға әкеп соғады.

Қалдық кернеулердің зиянды әсері металдың жалпы химиялық белсенділігінің жоғарылауынан көрінеді. Созылу кезіндегі қалдық кернеулердің әсерінен кристаллитаралық коррозияның күшеюі (жездің маусымдық шытынауы) әсіресе зиянды.

Қалдық кернеулері бар металда әртүрлі белгілердегі серпімді деформация аймақтары болады. Егер өнімді ортасынан бөлсе немесе оның беткі қабатын кесіп алса (сонымен қатар қиратса), макрокернеуді серпімді түрде алуға болады. Қалдық кернеулердің шамасы мен белгісін анықтаудың механикалық әдістері осы кезде пайда болатын серпімді деформацияларды өлшеуге негізделген (кернеулер деформациялардан анықталады).

Қалдық кернеулер өнімді өңдеу, пайдалану немесе қоймада сақтау кезінде пішіннің бұзылуына (бүгілуіне) және өлшемдерінің өзгеруіне әкелуі мүмкін. Металл бұйымдарының деформациясы ішкі күштер мен моменттердің тепе-теңдігі бұзылған кезде металда пайда болатын иілу және бұралу деформациясының нәтижесінде пайда болады. Жиі және күшті бұрмаланулар кесу арқылы өңдеу кезінде пайда болады, өйткені металл қабатын жою қалдық кернеулердің тепе-теңдігін бұзады. [29]

Бөлшектерді сақтау кезінде өлшемдердің өздігінен өзгеруі және деформациясы олардың босаңсуы кезіндегі қалдық кернеулердің бірте-бірте қайта бөлінуіне байланысты болады. Кернеулердің релаксация (кему) жылдамдығы олардың бастапқы деңгейіне байланысты: ол неғұрлым жоғары болса, релаксация соғұрлым тезірек жүреді. Қалдық кернеулердің шамасы бұйым қимасының әр бөлігінде әртүрлі болғандықтан, бөлме температурасында олардың босаңсуының әртүрлі жылдамдығына байланысты ішкі күштер мен моменттердің бастапқы тепе-теңдігі бұзылады. Бұл жағдайда қалдық кернеулер қайта бөлінеді, жаңа тепе-теңдік күйі орнатылады. Соғылу шамасы неғұрлым үлкен болса, қиманың әртүрлі учаскелеріндегі қалдық кернеулердің босаңсу дәрежесінің айырмашылығы соғұрлым көп және бұйымның иілу қаттылығы төмен болады. Кейде, станоктарды жинағаннан кейін, бұрын бір-біріне дәл орнатылған түйісетін бөліктерде жол берілмейтін бос орындар немесе тығыздық пайда болады.

Жұмыс кернеулерінен алынып тасталатын, бақыланатын қалдық кернеулерді құру арқылы металдың іске пайдалану қасиеттерін арттыруға болады. Көбінесе беткі қабатта сығымдаушы қалдық кернеулер әдейі жасалады, бұл қауіпті созылу жұмыс кернеулерін азайтады. Осы мақсатта металдарды өңдеу, азоттау және басқа да беттік өңдеу түрлері қолданылады.

Тәжірибелік зерттеулер мен практикалық тәжірибе негізінде қысушы қалдық кернеулері тозуға қарсы беріктікті арттырады, ал созушы қалдық кернеулері қолайсыз әсер ететіні анықталды.

Қалдық кернеулердің төзімділікке әсері материалдың механикалық қасиеттеріне және кернеу күйінің сипатына байланысты. Беткі қабатта қысу кернеулері көп болған кезде тозуға қарсы беріктіктің жоғарлауы пластикалығы аз материалдар үшін және кернеу концентрациясы кезінде көбірек байқалады. Кейбір өңдеу түрлеріне тән болатын беттік қабаттардағы қалдық кернеулердің шамасы мен белгісінің күрт өзгеруі кезінде әдетте бөлшектің тозуға қарсы беріктігін анықтайтын фактор болып тереңдігі 10...20 мк қабаттағы кернеулер табылады. [30]

Сонымен қатар, егер жүктеме кезінде, қалдық кернеулерді жеңілдететін пластикалық деформациялар пайда болатын, кернеудің кем дегенде бірнеше жоғарылау циклдері болса, қалдық кернеулердің төзімділікке әсері көрінбеуі мүмкін екенін есте ұстаған жөн [7, б 124-142].

Кейбір жағдайларда, әсіресе беріктігі жоғары немесе біртекті немесе әртекті үйлесімдегі дәнекерленуі қиын материалдарды дәнекерлеу кезінде дәнекерлеу кернеулері қосылыстардың соңғы қасиеттеріне теріс әсер етеді. Олар құрылымның нашарлауы және жіктің және жік маңындағы аймақтың пластикалығын жоғалту секілді жарықтарға, ал басқа қолайсыз факторлар (төмен температуралар, кернеу концентраттары) болған кезде құрылымның сынғыш бұзылуына әкеледі. Жік ақаулары (кеуектер, шлак қосындылары және т.б.) кернеу концентраторлары қызметін етеді. Олар қалдық кернеулердің зиянды әсерін күшейтеді, әсіресе ауыспалы жүктемелер кезінде. Қалдық кернеулер конструкцияның қаттылығын төмендетуі мүмкін, сонымен қатар жұмыс жүктемелері болмаған кезде де (мысалы, титан мен цирконий негізіндегі қорытпалардан жасалған дәнекерленген қосылыстардағы гидридті түрлендірулер кезінде) жайлап бұзылуға айтарлықтай әсер етеді. Қалдық кернеулер болған жағдайда дәнекерленген қосылыстардың коррозияға төзімділігі төмендеуі мүмкін (мысалы, ОТ4 қорытпасында және т.б.) [25, б 378-383].

Беттік созушы қалдық кернеулер кристаллитаралық коррозияның дамуының, мысалы, тат басуға берік болаттарда дамуының және жездің коррозиялық шытынауының маңызды факторы ретінде қарастырылады.

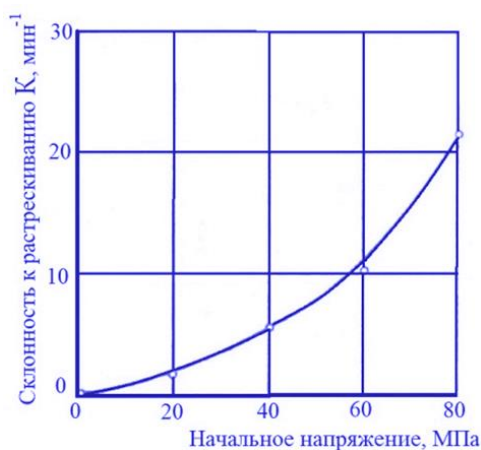
[31, 32] жұмыстарда жездің шытынау құбылысы егжей-тегжейлі қарастырылған. Жасанды зертханалық ортада немесе ашық ауада жезді шытынауға сынау кезінде жарықтар әрқашан беткі қабаттың созылу кернеулері әсер ететін жерлерінде басталған. Керісінше, қысу кернеулері бар учаскелер шытынауға төзімді болды. Демек, жездің коррозиялық шытынауы кезінде жарықтардың пайда болуы үшін бұйымдардың бетінде бірінші түрдегі созылу кернеулері қажет.

Созылу кернеулерінің жоғарылауы жез үлгілерінде жарықтар пайда болғанша немесе олар істен шыққанға дейін сынау уақытының қысқаруына әкеледі.

Бұл фактіні алғаш рет 1880 жылы А.В.Рутковский анықтады және жариялады. Ол ашық ауада бірнеше жүздеген гильзалардың жарылуын сынап отырып «металда зиянды кернеулер қалған гильзаларда бұзылу пайда болады»

және «керу көп болған сайын, бұзылу деңгейі де жоғары болады» деген қорытындыға келді.

Жүргізілген тәжірибелер созылу кернеуінің жоғарылауымен сынақ ұзақтығының азаюын растады. Сынақтың бастапқы сәтінде 80 МПа созылу кернеуін тудыратын, салынған күштің әсерінен күйдірілген жезден жасалған жолақтар 20 МПа-мен салыстырғанда 11 есе жылдам істен шықты. 1.6-суретте жездің созылу үрдісінің коэффициентінің созылу кернеуіне тәуелділігін көрсетеді. 10 %-дық NH_3 -тегі қанық $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ерітіндісіне салынған және керілуіне ұшыратылған күйдірілген жез жолақтары сыналды керілуге ұшыраған.



Сурет 1.6 - Созылу кернеуінің мөлшеріне байланысты жездің шытынауға бейімділігі

1.6-суретте жездің жарылу бейімділігінің өлшемшарты ретінде K шамасы, сынау ұзақтығының кері шамасы пайдаланылды. Шытынауға бейімділік коэффициенті деп аталатын бұл шама үлгілердің бетінде алғашқы жарықтар пайда болғанша сынақ ұзақтығына 100-ді (минутпен) бөлу арқылы анықталады. Бобылев А.В. созылу кернеулері болмаған кезде жездің шытынауы мүмкін емес деген тұжырым жасайды [32, б 67]. Тіпті «созылу кернеуінсіз жездің шытынауы» жағдайларын мұқият қарастырғанның өзінде, мұндай әсердің шынымен болғаны анықталды. Мысалы, толық қайта кристалдандырылған күйдіруге және кейіннен оның орамдарының қолайсыз жағдайларда сақталуына ұшыраған жез таспасының жарылуы оны тартып өңдеу пештерінде күйдіруден және бүктеу кезінде онда кернеулердің пайда болуынан туындаған. Бухталарда күйдірілген жез жолақтардан оралған сақиналар жарылып кетуге бейім болды. Орамдарда күйдірілген жезден жасалған сымның жарылуы бухталардың осьтері жауын-шашыннан қорғалмаған сарайда көлденеңінен сақталуынан және өз салмағымен орамда созылу кернеулерінің пайда болуынан туындаған.

Көлденең деформация бағытында жарықшақтық үрдісі бойлық бағыттағыға қарағанда жоғары: салқын илектелген жездің көлденең жолақтарының бойлық жолақтарға қарағанда төзімділігі аз.

Жезден жасалған бөлшектерді немесе бұйымдарды сенімді қосылу үшін «ауыспалы» басқа бөлшектермен жұптау өте үлкен қауіп болып табылады, өйткені бұл патрондалған гильзалардың мойындарында немесе электр кедергілерінің жезден жасалған «ұштарында» созылу кернеуіне әкеледі.

Жезден жасалған жартылай фабрикаттарды (кұбырлар, жолақтар, сымдар) серішпелер және серпімді сезгіш элементтер ретінде пайдалану кезінде де созылу кернеулері пайда болады.

Әртүрлі әдістермен алынған нәтижелерді салыстыру келесі қорытындыға әкеледі. КАТ-ға төзімділікті арттыру үшін жоғары жиілікті шихтадан жасалған аустенитті хром-никельді болаттарды балқытқан кезде көміртегінің мөлшерін азайту қажет. Тот баспайтын хром-никельді болаттарды алудың арзан әдісі - кәдімгі шихтадан балқытуды қолданатын болсақ, онда ХТМТ циклінде болаттың реттелетін ыстық деформациясын қолдану арқылы КАТ-ға төзімділіктің бірдей жоғарылауына қол жеткізуге болады.

Қоспалар бойынша кәдімгі тазалықтағы ХТМТ болатты пайдаланған кезде болаттың ІСС-ге бейімділігін төмендету әсеріне көміртегінің мөлшері 0,1% дейін жоғарылағанда да қол жеткізуге болады, бұл біріншіден, осы класстағы болаттарды өндіруді жеңілдетеді, екіншіден, олардың күшінің жоғары деңгейін анықтайды.

Аустенитті болаттардың кернеу астында коррозиялық шытынауға қарсы төзімділігі ИНК-1 қондырғысында қайнап тұрған 42% $MgCl_2$ ерітіндісінде ($t_{қайнау}=154^{\circ}C$) зерттелді [33]. Сынақтар ЛИМ-4 В үлгілерінің бір осьтік керілу схемасы және тұрақты жүктемені қолдану бойынша жүргізілді. Кернеу мөлшері бөлме температурасында алдын ала созылу сынақтарының нәтижелері бойынша анықталды, әрі σ_0 $\sigma_{0,2}$ -ден белгілі бір үлесті құрады. Жүктеме ± 10 Н дәлдікпен орнатылды. τ_p бұзылу уақыты жазылды; кернеу астында коррозиялық шытынауға қарсытөзімділік сипаттамасы ретінде орташа квадраттық ауытқуды ескере отырып, осы өңдеуден кейін үш үлгі үшін τ_p орташа мәні ретінде қабылданды. Осылайша, 264 МПа-ға ($0,7\sigma_{0,2}$) тең кернеуді салған жағдайда 0,1% көміртек қамтылған қарапайым шихтадан балқытылған, термомеханикалық қатайтылған Х18Н12Т болаттың кернеу астында коррозиялық шытынауына (КРН) сынақтар кезінде бұзылуға дейінгі уақыт әдеткі шыңдалған жай-күймен салыстырғанда 2,5 есе ұлғайды (264 МПа шыңдалған болат үшін $1,2 \sigma_{0,2}$ құрайды).

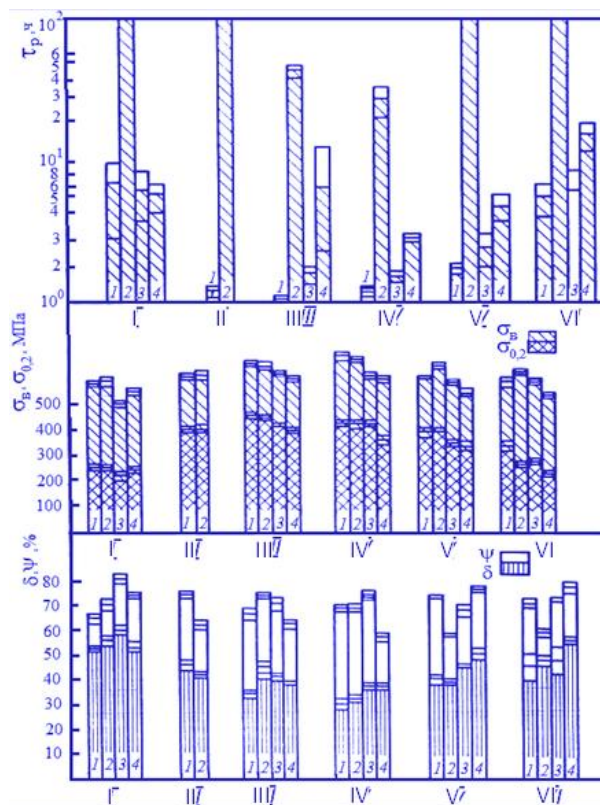
Салынған кернеу деңгейінде, мысалы, $1,2\sigma_{0,2}$ -ге дейін ($\sigma=450$ МПа), ККШ кедергісінің мұндай өсуі байқалмады. Ыстық өңделген болаттың бұзылу уақыты шыңдалған болатқа қарағанда қысқа болды. Өйткені $1,2\sigma_{0,2}$ кернеу кезінде болаттың механикалық қасиеттерін анықтайтын НТМТ кезінде бұрын жасалған ішкі құрылымның бұзылуына әкелетін пластикалық ағын процестері дамиды.

Сондықтан ККШ кедергісін басқа механикалық қасиеттермен, атап айтқанда, деформацияға төзімділік сипаттамаларымен бірге қарастыру керек.

Шыңдалған және ыстық деформацияланған Х18Н12Т болатының кернеулі коррозиялық шытынауға қарсы төзімділігін зерттеу нәтижелерін салыстыру графикалық түрде 1.7 -суретте көрсетілген.

Техникадағы әлемдік трендтердің бірі-дәстүрлі материалдарды полимерлі композиттерге біртіндеп ауыстыру. Машина жасау саласында полимерлі-композиттік материалдарды қолдану бағыттарының бірі электр центрифугалық суасты сорғыларының жұмыс дөңгелектерін жасау болды. Полимерлі-композиттік материалдар (ПКМ) көптеген ерекше қасиеттеріне байланысты кеңінен қолданылды. ПКМ өндірісінің қарқынды дамуының шешуші факторы дәстүрлі материалдармен бәсекелестік болды. [34]

Тұрақты қолданылатын кернеулердің әрекеті аустениттік хром-никельді болаттардың коррозиялық крекингі кезінде транскристаллиттік бұзылуды анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Жарықтың пайда болу сатысында кернеулер жергілікті пластикалық деформацияның деңгейін және сонымен бірге үлгі бетіндегі қорғаныш қабықтың жергілікті бұзылуын анықтайды. Коррозия сызатының таралуы оның ұшының алдындағы пластикалық релаксация процестерімен байланысты. Жалпы жағдайда, кернеу деңгейінің жоғарылауымен және агрессивті ортаның бір мезгілде әрекетімен белсенді орталықтардың саны артып, металл бетінде коррозияға қарсы жарықтардың пайда болуына және дамуына ықпал етеді. Пайда болған жарықшақ дәннің тереңдігіне қандай қарқындылықпен таралатыны оның ұшына іргелес көлемдегі пластикалық релаксация ағынымен анықталады.



I- стандартты шыңдау 1060°C, 1сағ. суда салқындалу; II- ВТМО: $t_{деф} = 900^{\circ}\text{C}$, $\varepsilon = 5\text{c}^{-1}$, $\varepsilon=20\%$; III — ВТМО: $t_{деф} = 900^{\circ}\text{C}$, $\varepsilon = 5\text{c}^{-1}$, $\varepsilon=60\%$; IV — ВТМО: 1115 °C-

тан $t_{\text{деф}}=900^{\circ}\text{C}$ дейін суыту, $\varepsilon = 5\text{c}^{-1}$, $\varepsilon=60\%$; V — ВТМО: $t_{\text{деф}} =1050^{\circ}\text{C}$, $\varepsilon = 5\text{c}^{-1}$, $\varepsilon=60\%$; VI — ВТМО: $t_{\text{деф}}=1050^{\circ}\text{C}$, $\varepsilon = 5\text{c}^{-1}$, $\varepsilon=60$

Сурет 1.7 - Шыңдалған және ыстық деформацияланған Х18Н12Т болатының кернеу астындағы коррозиялық шытынауға қарсы төзімділігі

Жүргізілген зерттеулерге сүйене отырып, [35] авторлар аустениттік хром-никельді болаттардың кернеулі коррозиялық шытынауға төзімділігі беріктік пен иілгіштіктің қолайлы үйлесімімен анықталады деген қорытындыға келді. Осылайша, берілген агрессивті орта үшін кернеулі коррозиялық шытынау болаттың коррозиялық қасиеттеріне қарағанда механикалық сипаттама болып табылады.

Болат құбырлардың сапасына қалдық кернеулердің болуының, шамасы мен таралуының әсерін авторлар Соколов И.А. және Уральский В.Н. [5, б 43-48] егжей-тегжейлі зерттеген. Қалдық кернеулерді есепке алу және бақылау металл бұйымдарының сапасының қалыптасуының жалпы құрылымында қандай орын алатыны көрсетілген.

Жалпы металл бұйымдарының сапасы (нөлдік деңгей) механикалық қасиеттерімен, сыртқы бетінің сапасымен және прокаттың өлшемдерімен (бірінші деңгей) сипатталады.

Қасиеттердің ең көп санына әдетте химиялық құрамымен, механикалық қасиеттерімен, құрылымымен және ішкі ақауларымен сипатталатын металдың сапасы жатады, кейде арнайы қасиеттер қосымша көрсетіледі (екінші деңгей). Өз кезегінде, бұл қасиеттердің әрқайсысы қасиеттерді сандық сипаттайтын жеке қарапайым сапа көрсеткіштеріне ыдырауы мүмкін. Пластикалық немесе термиялық өндеудің әртүрлі процестерінен кейін металда қалдық кернеулердің пайда болуы ұзақ уақыт бойы белгілі болды, алайда қалдық кернеулер сапа көрсеткіштерінде көрсетілмеген. Жақында жоғары дәлдіктегі пішінді профильдер мен суық пластикалық деформация арқылы алынған басқа да өнімдерге арналған бірқатар шетелдік жарнамалар мен брошюралар «қалдық кернеулердің кепілдендірілген деңгейінің» болуы туралы белгілерді қамтиды.

Бірақ көп жағдайда металл бұйымдарының жекелеген түрлерінің сапасын немесе жаңа процестің ерекшеліктерін жалпы бағалауда олар «қолайлы» немесе «қолайсыз» бөлудің жалпы белгісімен немесе қысу немесе созылу қалдықтарының болуымен шектеледі. Себептер қалдық кернеулерді дәл өлшеудің операциялық әдістерінің жоқтығында, олардың пайдалану қасиеттеріне әсерін сандық бағалауда жатыр. Осыған сәйкес металлургияда қалдық кернеулердің шамасына әртүрлі технологиялық параметрлердің әсері туралы мәліметтер өте аз. Металл бұйымдарының ондағы белгілі бір қалдық кернеулердің болуы сияқты қасиетінің нақты сандық бағасының болмауына байланысты қалдық кернеулердің сапа көрсеткіштері әлі де жоқ. Бұл кернеулерді созылу және аққыштық шегі, салыстырмалы ұзару және тарылу, қаттылық, коррозияға төзімділік және т.б. сияқты қарапайым жалғыз сапа көрсеткіштеріне жатқызуға болмайды. Қалдық кернеулерді профиль өлшемдері

немесе металл сапасы сияқты жалпылама «бірінші деңгейдегі» көрсеткіштермен теңестіруге болмайды. Созылу кернеулерінің әсерінен микро ақаулар макрожарықтарға айналуы мүмкін.

Мермиялық өңдеусіз қоспалы болат маркаларынан жасалған сымдар мен профильдердің бұзылуы өте қауіпті жағдай болып табылады. Бұзылу себебі - бастапқыда жоғары деңгейдегі қалдық кернеулер уақыт бойынша қайта бөлінген кезде бұйымның жеке элементтерінде созылу шегінен асатын кернеулер тудыруы мүмкін. Аталған құбылыстар бұрын да белгілі болған, бірақ оларды металл бұйымдарының сапасы туралы соңғы идеялар тұрғысынан талдау қалдық кернеулерді ең көп таралған сапа көрсеткішін құрайтын маңызды қасиеттердің біріне жатқызуға мүмкіндік береді.

Жұмыстарда [35, 36] металл бұйымдарының, атап айтқанда құбырлардың өндіріс процесінде де, сақтау, тасымалдау және машина жасау кезінде де бұзылуына әкелетін факторлар қарастырылады, олардың арасында қалдық кернеулер маңызды рөл атқарады.

Материалдың бұзылуының келесі түрлері бөлінеді: иілгіш, сынғыш, шаршағыштық және кернеулі коррозия. Материал серпімді болған жағдайда, суперпозиция принципі жарамды, яғни қалдық кернеулер сыртқы жүктемеден түсетін кернеулермен алгебралық түрде қосылады. Егер жүктеме нәтижесінде материалдың пластикалық күйі орнаса, онда пластикалық ағын жағдайында қалдық кернеулерді жүк кернеулеріне алгебралық түрде қосу мүмкін емес, өйткені олар сандық түрде өзгереді және қайта бөлінеді. Нәтижесінде, түсіруден кейін денеде пластикалық ағынды тудырған сыртқы күштер жүйесіне сәйкес келетін қалдық кернеулердің мүлдем басқаша таралуы пайда болады. Коттрелл және басқа да бірқатар зерттеушілер [37] бар қалдық кернеулерді жою үшін аздаған пластикалық деформацияның өзі де (0,2%-ға дейін) жеткілікті деп есептейді.

Осылайша, сыну алдында макроскопиялық пластикалық ағын байқалған кезде қалдық кернеулер иілгіш сыну процесіне аз немесе мүлдем әсер етпейді. Бірқатар себептерге байланысты пластикалық деформация қиын немесе мүмкін емес жағдайларда (қартаю, пластиканың таусылуы, төмен температура және т.б.) қалдық кернеулер сыну процесіне айтарлықтай әсер етеді.

1.3 Құрылымдардағы қалдық кернеулердің анықтамасы және рөлі

Қалдық кернеулер бөлшектерде көптеген технологиялық операциялар барысында (күю, соғу, техникалық қызмет көрсету және химиялық өңдеу) пайда болады және олардың шамасы бойынша сыртқы жүктемелерден болатын кернеулерден асып кетуі мүмкін.

Қалдық кернеулер, әсіресе беткі қабаттар үшін зиянды және пайдалы болуы мүмкін. Беткі қабаттарда қысу қалдық кернеулерінің қалыптасуы үрлеу, илемдеу және т.б. сияқты технологиялық процестерді қолдану арқылы жүреді [1, б 36].

Бұйымдардың статикалық, динамикалық беріктігі мен коррозияға төзімділігінің дамуы бұйымдардағы қалдық кернеулерге байланысты. Бұйымдар мен конструкциялардың геометриялық өлшемдерінің өзгеруі қалдық

кернеулердің босаңсуынан туындауы мүмкін. Бұл процесс дененің әртүрлі бөліктерінде кернеулердің шамасына байланысты әртүрлі қарқындылықпен жүреді, осыған байланысты кернеулердің теңгерімсіздігінен, бастапқы өлшемі мен пішінінің өзгеруінен дене деформацияланады.

Біркелкі емес пластикалық деформациялар, тұрақтылығынан айырылу, өзгеру, майысу бұралу қалдықтық кернеулермен қосыла отырып іске пайдалану барысындағы сыртқы жүктемелердің әсерінен пайда болуы мүмкін [38].

Қалдық кернеулер көптеген технологиялық операцияларда (күю, соғу, техникалық қызмет көрсету және химиялық өңдеу) бөліктерде пайда болады және олардың шамасы бойынша сыртқы жүктемелерден болатын кернеулерден асып кетуі мүмкін.

Қалдық кернеулер, әсіресе беткі қабаттар үшін зиянды және пайдалы болуы мүмкін. Беткі қабаттарда қысу қалдық кернеулерін құру үрлеу, ату, илемдеу және т.б. сияқты технологиялық процестерді қолдану арқылы жүреді [39].

Бұйымдардың статикалық, динамикалық беріктігі мен коррозияға төзімділігінің дамуы бұйымдардағы қалдық кернеулерге байланысты. Бұйымдар мен конструкциялардың геометриялық өлшемдерінің өзгеруі қалдық кернеулердің босаңсуынан туындауы мүмкін. Бұл процесс дененің әртүрлі бөліктерінде кернеулердің шамасына байланысты әртүрлі қарқындылықпен жүреді, осыған байланысты кернеулердің теңгерімсіздігінен, бастапқы өлшемі мен пішінінің өзгеруінен дене деформацияланады.

Жұмыс кезінде сыртқы жүктемелердің әсерінен қалдық кернеулерге дейін қосылатын біркелкі емес пластикалық деформациялар, иілу, иілу, иілу және бұралу пайда болуы мүмкін [40].

Жұмыста [3,617] иондық-плазмалық жабындарда кернеулі-деформацияланған күйді қалыптастыру процесі қарастырылды. Автор иондық-плазмалық жабындарды тозаңдату кезінде төсем температурасының құрылымдық түзілімдердің наноөлшемділігіне және қалдық кернеулерге әсерін зерттеді. Жұмыста иондық-плазмалық жабындарда жоғары серпімді кернеулердің пайда болуының негізгі себептері болып тұндыру процесінде иондық-атомдық бомбалау (қысу кернеулерінің дамуына әкеледі) және жабын мен қабат материалдарының термиялық кеңею коэффициенттерінің айырмашылығы (термиялық кернеулер; белгі жабын мен төсеніш материалдарының термиялық кеңею коэффициенттерінің айырмашылығымен анықталады) көрсетілген. Тұндыру кезінде төсеніш температурасының жоғарылауымен салыстырмалы түрде төмен жылу өткізгіштік коэффициенті бар төсеніштер жағдайында жабынның қысылуының жалпы серпімді макродеформациясы төмендейді. Тұндыру процесінде тікелей пайда болатын кернеулер тұндыру процесінде де, оның соңында да босаңсуы мүмкін. Осылайша, жоғарыда аталған факторлардың әсерін ескере отырып және тұндыру температурасын өзгерту арқылы кернеу факторының үлесін азайтуға және пленкалар мен жабындардың кернеу күйін басқаруға болады.

Үлкен ауыспалы жүктемелердің әсер ету жағдайында жұмыс кезінде құралдың өнімділігін арттыру үшін көп қабатты Ti/TiN жабындары ең

перспективалы болып табылады. Көп қабатты жабындар бір қабатты (бір фазалы) TiN жабындарына қарағанда жоғары сыну кедергісіне ие, бұл TiN-ге қарағанда төмен Ti серпімділік модуліне және қабатты жабын жазықтығындағы сызаттардың баяу дамуына байланысты. Жұмыста [4, б 87-97] қабаттардың салыстырмалы түрде үлкен қалыңдығы бар көп қабатты жабындарда үлкен қаттылықтың салыстырмалы түрде үлкен қалыңдығы бар көп қабатты жабындарда үлкен ыну кедергісіне ие, бұл TiN-ге қарағанда төмен Ti серпі. Авторлар TiN қабаттарындағы кернеулі деформацияланған күйдің дамуы айтарлықтай релаксациясыз жүруі үшін Ti қабаттарының 30 нм-ден асатын қалыңдығының жеткілікті екендігі анықталды. Ұқсас әсер қалың титан қабаттарында да пайда болады: 125 және 250 нм.

Алюминийге титан мен титан нитридінің жұқа қабатты күшейтетін жабындарын тұндыру кезінде қалдық серпімді кернеулердің пайда болуының физикалық моделі қарастырылған. Бұл модель қабаттардың өзара әрекеттесуі кезіндегі коваленттік және иондық байланыстарды ескереді, сонымен қатар шекарадағы ішкі кернеулердің пайда болу механизмін ұсынады. Сығымдау кернеулері басқа металдан жасалған жабындар металл негізге түскенде, ал оксидті жабындар тұндырылған кезде созылу кернеулері пайда болады. Тангенциалды кернеулер деңгейін төмендетуге субстрат материалында төменгі ішкі кернеулерді тудыратын аралық қабаттарды құру арқылы қол жеткізуге болады.

Атап өтетін жайт, қазіргі уақытта құрылымдық денеде қалдық кернеулерді индукциялау талаптарын сақтау маңызды жобалық-технологиялық міндет болып табылады.

1.4 Конструкция элементтеріндегі кернеулі-деформациялық күйге конструктивті-технологиялық факторлардың әсері

Жаңа бөлшектер мен тораптарға қойылатын талаптарды орындау құрылымдық пішіндердің айтарлықтай күрделенуіне әкеледі, бұл өндіріс қабілеттілігін күрт төмендетеді және құрылымдардың құнын арттырады. Ымыра ретінде жергілікті сапа принципі қолданылады, ол шамадан тыс жүктелген, негізінен кернеулі концентраторларды күшейтуді және аздап кернеулі жүк көтергіш элементтерді әлсіретуді білдіреді [41,42].

Кернеу концентраторы – бұл келесідей әртүрлі себептермен туындауы мүмкін деформацияланатын денедегі кернеу өрістерінің күрт жергілікті өзгеруі конструктивті (бөлшектердің геометриясының күрт өзгеруі, тесіктер мен кесінділердің болуы және т.б.); технологиялық (беттің кедір-бұдырының деңгейі, әртүрлі технологиялық процестердің нәтижесінде материалдардың қасиеттерінің өзгеруі және т.б.); операциялық (сыртқы күш пен температуралық жүктемелердің қосындысы, басталған жарықтар және т.б.).

Шоғырлану құбылысының айрықша ерекшелігі - концентратор маңындағы кернеу деңгейінің күрт жоғарылауымен бірге, тіпті бастапқы бір осьтік күйде де пластмассалық деформациялардың немесе жарықтардың дамуына айтарлықтай әсер ететін жазық немесе көлемді кернеу күйінің пайда болуы [43]. Көптеген бөлшектердің және құрылымдық элементтердің көтергіштігі олардың кернеулік

күйімен және шоғырлану орындарындағы беріктік жағдайларымен анықталады, мұнда шекті күй мен бұзылу ең алдымен орын алады. Сынғыш немесе иілгіш сыну, ұзақ мерзімді статикалық, циклдік немесе соққы жүктемесі кернеу концентраторларының беріктігіне әртүрлі әсер ететіні белгілі. Кернеу концентраторы аймағында кернеулер мен деформациялардың нақты таралуын орнату, сонымен қатар материалдың қасиеттерін (икемділік, сусымалылық, пластикалық) ескеру талап етіледі [7, б 38-46].

Конструкция кернеулер шоғырланған жерлерде жүктелген кезде пластикалық деформациялар және соның салдарынан қалдық кернеулер пайда болуы мүмкін [44].

Циклдік жүктеме кезінде қалдық кернеулердің таралу деңгейі, белгісі және сипаты бөлшектердің шаршауға төзімділігіне айтарлықтай әсер етеді. Егер сыртқы әсерлерден болатын циклдік кернеулер симметриялы циклге сәйкес өзгерсе және бір мезгілде беттік қабатта қысу қалдық кернеулері әсер етсе, асимметриялық толық кернеу пайда болуы мүмкін. Төзімділік шегі орташа кернеу сығымдалған болса артады, ал орташа созылу кернеуі кезінде төзімділік шегі төмендейді [45,46].

Осылайша, технологиялық қалдық кернеулер өнімнің беріктігіне әсер етеді. Айта кету керек, бүгінгі күні шоғырлану орындарында қысу қалдық кернеулерін жасау сыни бөлшектердің қажу беріктігін арттырудың кеңінен қолданылатын және тиімді әдістерінің бірі болып табылады.

Бірінші тарау бойынша қорытынды

Қалдық кернеулердің пайда болу сипаты, пайда болу себептері, қалдық кернеулердің жіктелуі туралы мәселенің қазіргі жағдайына талдау жасалды, конструкциялардағы қалдық кернеулердің рөлі анықталды.

Сыртқы жүктеменің ұлғаюымен қалдық кернеулердің мәндерінің айырмашылығы бірте-бірте азаяды, ал пластикалық деформация кезінде кернеудің таралуы біркелкі болады. Деформациялық қатайту кезінде жеке түйіршіктердің немесе олардың топтарының қаттылығы одан әрі пластикалық деформацияға төзімділігінің бір мезгілде жоғарылауымен жоғарылайды. Пластикалық деформацияның басталуында макрострессстердің таралуы біркелкі болады, бірақ штаммдардың таралуы өте біркелкі болмайды. Көлденең қима бойынша температураның біркелкі емес таралуы металда біркелкі емес фазалық өзгерістерге әкелуі мүмкін, бұл әртүрлі меншікті көлемдерде жоғары қалдық кернеулерге әкеледі.

Металдарды қысыммен ыстықтай өндеуден кейін қалдық кернеулердің күрделі жүйесі пайда болады, олардың шамасы мен таралу сипаты жоғарыда аталған факторлардың барлығымен анықталады. Беткі қабаттардағы созылу кезіндегі қалдық кернеулер айнымалы жүктемелермен жұмыс істейтін бөлшектер үшін әсіресе зиянды, өйткені мұндай кернеулер шаршаудың бұзылуына ықпал етеді. Қалдық кернеулер сонымен қатар пішіннің бұзылуына (бүгілуіне) және оны өңдеу, пайдалану немесе бұйымның өлшемдерінің өзгеруіне әкелуі мүмкін. Қоймада сақтау.

Металл бұйымдарының деформациясы ішкі күштер мен моменттердің тепе-теңдігі бұзылған кезде металда пайда болатын иілу және бұралу деформациясының нәтижесінде пайда болады.

Жұмыс кернеулерінен алынып тасталған бақыланатын қалдық кернеулерді құру арқылы металдың өнімділік қасиеттерін арттыруға болады. Көбінесе беткі қабатта сығымдаушы қалдық кернеулер әдейі жасалады, олар қауіпті созылу жұмыс кернеулерін төмендетеді. Осылайша, технологиялық қалдық кернеулер бұйымның беріктігіне әсер етеді. Айта кету керек, бүгінгі күні шоғырлану орындарында қысу қалдық кернеулерін жасау сыни бөлшектердің қажу беріктігін арттырудың кең таралған және тиімді әдістерінің бірі болып табылады.

Жүктемелердің әсерінен өтпелі қондырмалары бар буындардың жүк көтергіштігінің төмендеуі және өздігінен қысым жасау жағдайлары анықталды. Қосылымдар мен түйіндердің жүк көтергіштігінің төмендеуінің ықтимал себептері туралы жалпы қабылданған түсініктеме жоқ. Жұмыстардың көптігіне қарамастан, қалдық кернеулер мәселесі және олардың өтпелі қондырмалары бар қосылыстардағы беріктікке әсері аз көлемде зерттелген.

2 ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ҚАЛДЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ КЕРНЕУЛЕРГЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

2.1 Өтпелі қондырулары бар қосылыстардағы кернеулі-деформацияланған жай-күйді және технологиялық зерттеу

Машина жасау мен аспап жасауда бөлшектердің ауыспалы қосылыстары кеңінен қолданылады. Кергіші бар қосылыстар дегеніміз бұл керілмелі және саңылаулы қондырмалар, әрі әдеттегі кернеу концентраторлары болып табылады. Саңылау диаметрі қармалатын бөлшектің (ось немесе білік) диаметріне қарағанда кішірек болатын қамтушы бөлшекті қондыру (төлке немесе күпшек) кезінде, беттесу жазықтығында тетіктердің өзара ығысуына кедергі келтіретін ілінісу күші туындайды.

Кермелі қосылыстарды механикалық престоу арқылы, қамтылатын бөлікті қыздыру немесе салқындату арқылы, сондай-ақ гидрокергі арқылы алады. Сенімділігі жоғары осы қосылыстар елеулі осьтік күштерді және айналу моменттерін жеткізуге мүмкіндік береді [47].

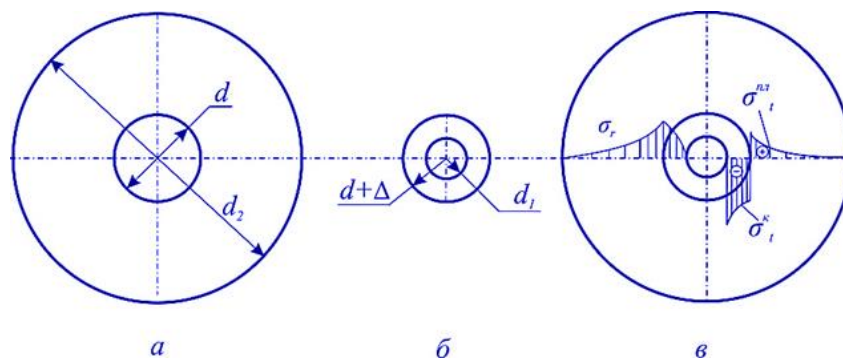
Ляме формуласын қолдану арқылы беріктікке қосылу тетіктерін есептеу жүзеге асырылады [47,б 14-19]. Байланыстырылатын элементтер арасындағы байланыс қысымы келесі формулалар бойынша есептеледі.

$$p = \frac{\Delta}{d \left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right)}, \quad (2.1)$$

$$C_1 = \frac{1+(d_0/d)^2}{1-(d_0/d)^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{1+(d/d_2)^2}{1-(d/d_2)^2} - \mu_2, \quad (2.2)$$

Мұндағы Δ -керілу шамасы; E_1, ν_1 және E_2, ν_2 -сәйкесінше жабылатын және жабылатын бөлшектердің серпімділік модульдері және Пуассон материалдарының коэффициенттері.

Контакттілі өзара әрекеттесу нәтижесінде қалыпты радиалды σ_r және айналмалы σ_t кернеулер пайда болады (2.1-сурет).



a -қамтушы бөлік, *б*-қамтылатын бөлік, *в*-кермелі қосылыстағы кернеулердің бөлінуі

Сурет 2.1 – Кермелі қосылыс схемасы

Бұл бөлімде «білік-сақина» қосылысын алуды математикалық модельдеу міндеттері (2.2-сурет), сондай-ақ алынған кернеулі-деформацияланған күйді зерттеу қарастырылған.



(а) білік



(б) сақина

Сурет 2.2 – «Білік-сақина» қосылыс

Диаметрі $d_{пл} = (14..30)$ мм саңылаумен босатылған, ішіне қалыңдығы $t=(2..10)$ мм сақиналар мен біліктер зерттелген; $d= 10$ мм-сақинаның ішкі диаметрі; $s = (5..15)$ мм-сақина мен білік диаметрі. Білік материалы - кәдімгі юолат 45 (аққыштық шегі $\sigma_{пл} = 730\text{МПа}$, сызықтық кеңею коэффициенті $\alpha_T=8,6*10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), ал сақиналар- аққыштық шегі $\sigma^{кол} = 1250\text{МПа}$ Болат 40Х материалы. X және Y осьтеріне қатысты геометриялық және күштік симметрияға байланысты қосылыстың жобалау схемасы ретінде $\frac{1}{4}$ бөлігі қабылданды (2.3-сурет).

Ауыспалы қосылудың технологиялық процесін сандық модельдеу екі кезең түрінде қарастырылады.

Бірінші кезеңде пластина қызып, пластина мен сақина арасындағы e өлшемді саңылауды қамтамасыз етеді, бұл сақинаны пластинаның саңылауына одан әрі отырғызу үшін жеткілікті. [48]



а-сақинаны қыздыру



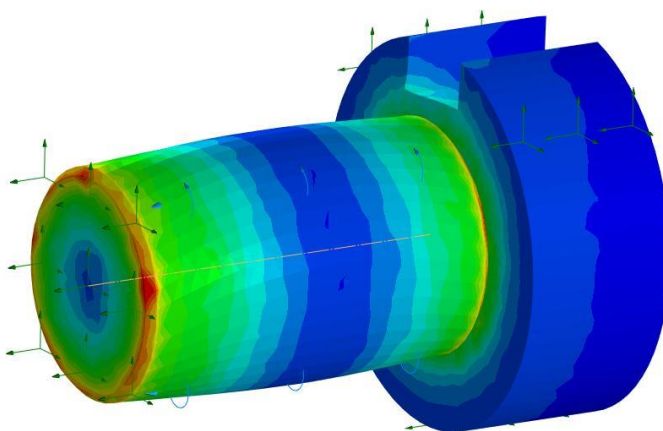
б-білікті салқындату және қосылыстың пайда болуы

Сурет 2.3 – Қондыруды технологиялық алу тәсілі

Процестің екінші кезеңінде сақинаны диаметрі $d^*_{пл} = d_{пл} + 2e$ біліктің бойына орнату жүргізілді, ал $d^*_{пл} = d_{пл} + 2e$ (3.3-сурет, в) білік саңылауына орнату және білікті ΔT шамасына салқындату орындалды. Саңылауының шамасы сақинаның ішік диаметрінің d_k өлшеміне төзімділікке байланысты ($H7/n7$ кепілдендірілген ауыспалы қондыру) [48, б 32-36].

Салқындату кезінде білік пен сақина арасында p_k байланыс қысымы пайда болады (2.3-сурет,б) және қосылыс пайда болады (2.1-сурет,а), бұл бөлшектерде кернеулі деформацияланған күйдің пайда болуына әкелді.

2.4-суретте математикалық модель және зерттелетін қосылыстың торлы аналогы көрсетілген. Айта кететін жайт, дәлірек шешім үшін жанасу аймағында өте ұсақ тор тетіктерге бөлінген.



Есептің сандық шешімі ANSYS 14.5 бағдарламалық-есептеу кешенін қолдана отырып, үш өлшемді қойылымда түпкілікті элементтер әдісімен орындалды

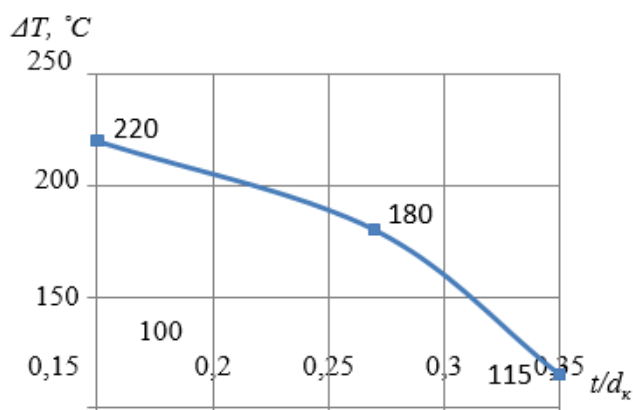
Сурет 2.4 - Керіліспен қосылыс моделі

2.2 Қондырудың технологиялық операциясын өтпелі қондырумен орындау кезінде алынған қалдық кернеулерді есептеу

Жоғарыда сипатталған модель негізінде "білік – сақина" қосылымында ҚДК-нің сандық есебі жүргізілді.

d_k отырғызу диаметрі үшін ΔT оңтайлы қыздыру шамасы анықталды. ΔT қыздыру шамасының t/d_k қатынасына тәуелділігі алынды (2.5-сурет), бұл машина уақытының минималды шығындарымен қажетті алшақтықты қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

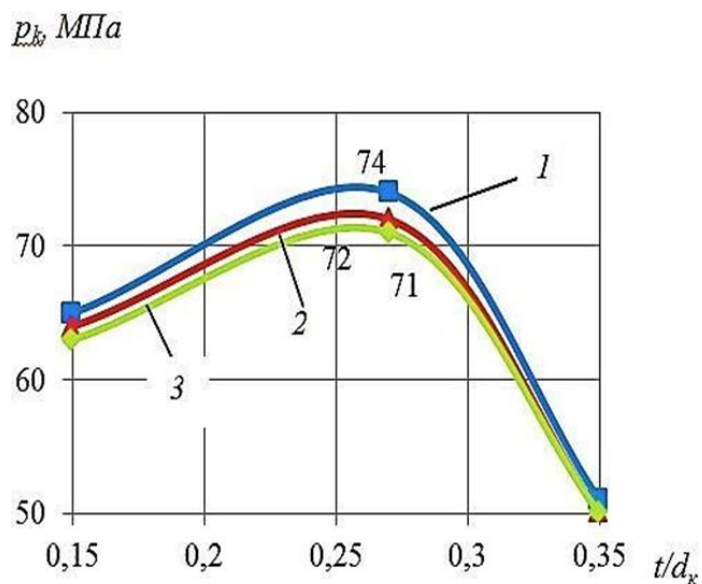
Айта кету керек, t/d_k қатынасы арттырылған кезде t/d_k оңтайлы температураның мәні 115°C -қа дейін төмендейді, бұл өз кезегінде компьютердің машиналық уақыты мен ЭЕМ жедел жадының төмендеуіне әкеледі.



Сурет 2.5 – ΔT шамасының T/D қатынасына Тәуелділігі

Зерттеу нәтижесінде байланыс қысымының p_k геометриялық параметрлерге тәуелділігі алынды (2.6-сурет).

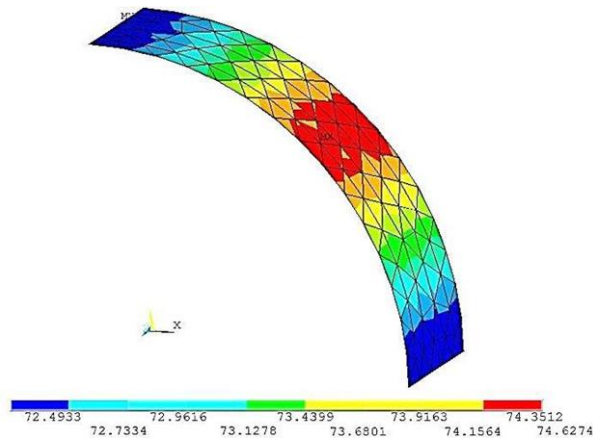
t/d_k 0,15-тен 0,27-ге дейін өзгерген кезде p_k қысым шамасы артады. Контакт қысымының максималды мәні $p_k = 74$ МПа, t/d_k 0,27-ге тең болғанда және $s = 5$ мм қатынасында жететіні анықталды. Сақинаның қалыңдығының одан әрі артуы p_k контакт қысымының 52 МПа-ға дейін дейін төмендеуіне әкеледі. S қосылысының биіктігі 5 мм-ден 15 мм-ге дейін өскен кезде қысым мәні шамалы өзгереді. Мысалы, $t/d_k = 0,27$ қатынасында байланыс қысымы 74 МПа-дан 71 МПа-ға дейін төмендейді.



1- $s = 5$ мм; 2 - $S = 10$ мм; 3 - $s = 15$ мм

Сурет 2.6 - Байланыс қысымының геометриялық параметрлерге тәуелділік графигі

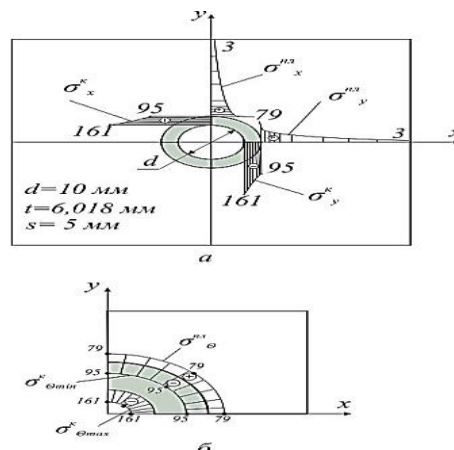
Мысал ретінде, 2.7-суретте сақинаның қалыңдығы $t = 6,018$ мм [49] және биіктігі $s=5$ мм-ге қосылатын кернеумен қондырудың технологиялық операциясынан алынған p_k байланыс қысымының таралу үлгісі көрсетілген.



Сурет 2.7 - ANSYS бағдарламалық кешеніндегі байланыс беті бойынша қысымның таралуы

Есептеу нәтижесінде қосылысты қалыптастыру кезінде технологиялық кернеулер мен деформациялардың таралу өрістері алынады. 2.8-суретте қалыңдығы $t = 6,018$ мм және биіктігі $s = 5$ мм сақинаны престагеген кезде пайда болатын білік пен сақинада тиісінше X және Y осьтері бойынша осьтік $\sigma^{пл}$, $\sigma^{пл}$, $\sigma^к$, $\sigma^к$ және контурлық $\sigma^{пл}$, $\sigma^к$ кернеулер эпюралары келтірілген.

2.8, а суретте және қосылыстың қалыңдығы бойынша осьтік кернеулердің таралуы біркелкі емес, ал сақинада керілуші, ал білікте- қысқыш кернеулер пайда болатыны көрініп тұр. Сақинадағы максималды кернеулер ішкі бос бетте байқалады және 161 МПа мәніне жетеді. Бұл жағдайда сақинадағы $\sigma^к$ минималды қысу кернеулері 95 МПа құрайды және сақинаның пластинамен жанасу аймағында болады. $\sigma^{пл} = 79$ МПа максималды созылу кернеулері байланыс аймағында пайда болады. Біліктің терең жанасу бетінен алыстаған сайын созылу кернеулерінің мәні 0 МПа-ға дейін төмендейді.



а-осьтік кернеулер σ_x , σ_y ; б-контурлық кернеулер σ_θ

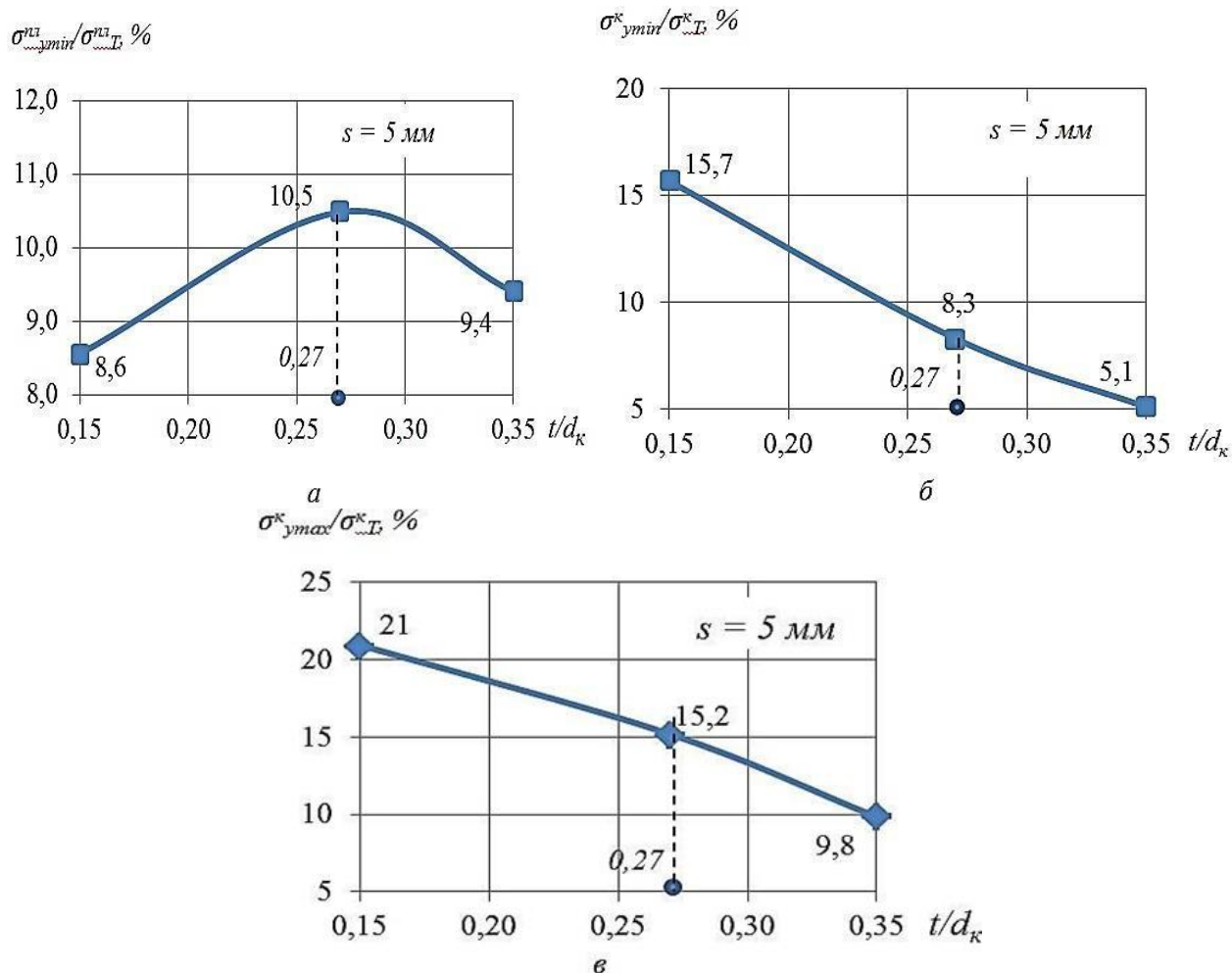
Сурет 2.8 - Керу кезіндегі технологиялық кернеулердің таралу өрістері

2.8-суретте, б қосылыстағы контурлық σ_θ кернеулердің таралу үлгісі [50] көрсетілген. Сақинада созғыш кернеулері, ал білікте- қысу кернеулер пайда

болады. Сонымен қатар, бұл кернеулердің таралуы бөліктердің контуры бойынша біркелкі. Ең шиеленісті орын- қамтылатын бөліктің бос ішкі беті [51] және максималды қысу кернеулері – $\sigma_{\max}^k = 161$ МПа.

Зерттеулер нәтижесінде мыналар алынды:

- біліктегі $\sigma_{\text{үміт}}^{nl} / \sigma_{\text{ІТ}}^{nl}$ (2.9-сурет, а) және сақинадағы $\sigma_{\text{үміт}}^{pl} / \sigma_{\text{ІТ}}^{pl}$ (2.9-сурет, б), $\sigma_{\text{үміт}}^k / \sigma_{\text{ІТ}}^k$ (2.9-сурет, в) салыстырмалы кернеудің сақинаның t қалыңдығының сақинаның ішкі d_k диаметріне тәуелділіктері.



Сурет 2.9 - Кернеудегі салыстырмалы осьтік кернеулердің $s = 5$ мм қосылым қалыңдығындағы t/d_k қосылым параметрлеріне тәуелділігі

Салыстырмалы кернеулер $\sigma^{nl} / \sigma^{nl}$ максимумға t/d_k 0,27-ге тең болған кезде жететіні және 10,5% мәнін алатыны анықталды (2.9-сурет, а). Сақинасының қалыңдығы t одан әрі ұлғайған кезде салыстырмалы кернеулердің мәні 9,4%-ға дейін төмендейді. Сақина қалыңдығы жоғарылаған сайын салыстырмалы кернеулер σ^k / σ^k сәйкесінше 15,7% - дан 5,1% - ға дейін және 21% - дан 9,8% - ға дейін төмендейді (2.9-сурет, б, в).

2.1–2.3 кестелерінде s қосылысының биіктігінің әр түрлі мәндеріндегі салыстырмалы кернеулерді есептеу нәтижелері келтірілген.

Кесте 2.1 – Қалдық кернеу $\sigma_y^{nl} / \sigma_T^{nl}, \%$ бойынша таралуы

Қалдық кернеу $\sigma_y^{nl} / \sigma_T^{nl}, \%$			
t/d_k	Қосылыс биіктігі s , мм		
	5	10	15
0,15	8,6	8,4	8,3
0,27	10,5	10,7	11,0
0,35	9,4	9,5	9,5

Кесте 2.2 – Салыстырмалы кернеу $\sigma_{ymin}^k / \sigma_T^r, \%$ бойынша таралуы

Салыстырмалы кернеу $\sigma_{ymin}^k / \sigma_T^r, \%$			
t/d_k	Қосылыс биіктігі s , мм		
	5	10	15
0,15	15,7	15,6	15,4
0,27	8,3	8,8	8,6
0,35	5,1	5,0	5,0

Кесте 2.3 – Салыстырмалы кернеу бойынша таралуы

Салыстырмалы кернеу $\sigma_{ymax}^k / \sigma_T^r, \%$			
t/d_k	Қосылыс биіктігі s , мм		
	5	10	15
0,15	15,4	15,8	15,2
0,27	7,9	9,3	8,1
0,35	5,3	5,5	4,9

Айта кету керек, s қосылысының биіктігі өзгерген кезде салыстырмалы кернеулердің сипаты өзгермейді.

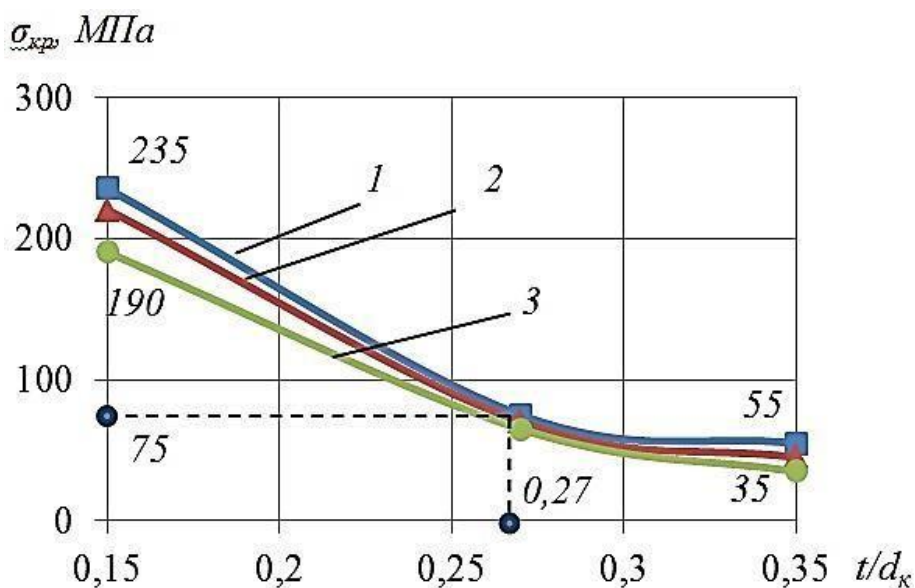
2.3 Кернеулі деформацияланған күйді зерттеу бір осьті созылу кезінде өтпелі қондырулармен қосылыстар

Серпімділік пен икемділік жағдайында шиеленісті және деформацияланған күйді егжей-тегжейлі зерттеу жалпы беріктікті есептеудің міндетті бөлігі, оңтайлы және сенімді құрылымдарды құрудың маңызды шарты болып табылады. Жобалау кезінде концентрация аймағындағы кернеу күйі мен беріктік жағдайларын қатаң бағалау жоғары кернеулі құрылымдардың мерзімінен бұрын бұзылуына және ауыр зардаптарға әкелуі мүмкін [52]. Осыған байланысты алынған кернеу қосылысы пайдалану жүктемелеріне ұшырады.

Геометриялық сипаттамаларға байланысты қосылыс салынған $\sigma_0 = \sigma_{кр}$ жүктемесінің критикалық мәніне төтеп бере алатындығы анықталды. $\sigma_{кр}$ мәнінен асқан кезде 1-нүктеде жанасудың бұзылуы орын алады. Қосылыс биіктігінің өзгеруі s критикалық кернеудің өзгеру сипатына $\sigma_{кр}$ аздап әсер ететіні анықталды, алайда оның деңгейіне әсер етеді (2.11-сурет).

Осылайша, t/d_k 0,15-ке тең қатынастағы қосылымда s қосылымының биіктігі жоғарылаған кезде критикалық кернеу мәні 235 МПа-дан 190 МПа-ға дейін төмендейді.

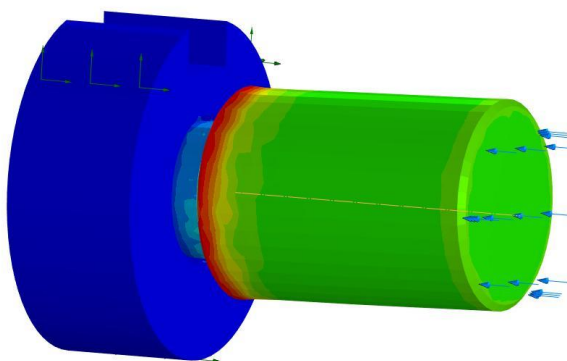
t сақинасының қалыңдығы жоғарылаған кезде критикалық кернеу мәні 18,4% - дан 23,4% - ға дейін төмендейді.



1- $s = 5$ мм; 2- $s = 10$ мм; 3 - $s = 15$ мм

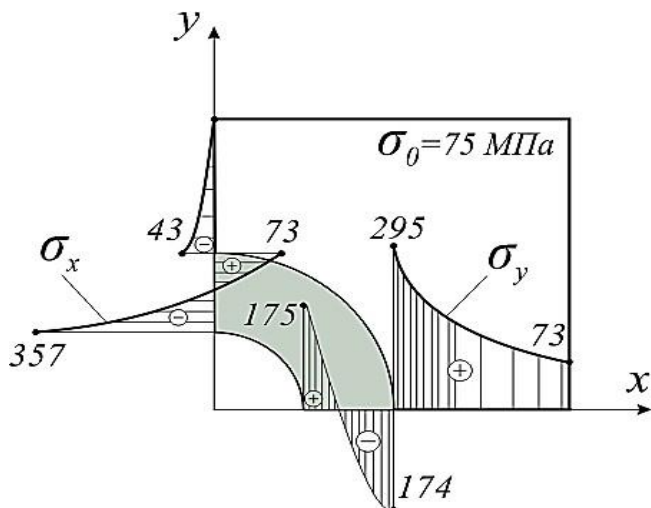
Сурет 2.10 - Критикалық созылу кернеуінің мәні $\sigma_{кр}$

2.11-суретте мысал ретінде $\sigma_0 = 75$ Мпа жүктемемен келген кезде биіктігі $s = 5$ мм, сақина қалыңдығы $t = 6,018$ мм және $d_k = 22$ мм пластинадағы σ_x , σ_y осьтік кернеулердің өрістерінің бөлінуі ұсынылған.



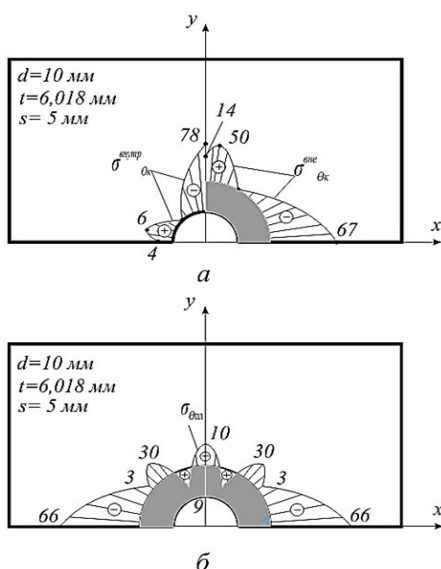
Сурет 2.11 – ANSYS бағдарламалық кешеніндегі осьтік кернеулердің таралу өрістері

Сақинаның ішкі бетінде созылу σ_y және қысу кернеулері σ_x пайда болады, олардың максимумы сәйкесінше 175 МПа және 357 МПа құрайды. Сақинаның сыртқы бетінде қысу σ_y және созылу σ_x пайда болады, олардың максималды мәндері 174 МПа және 73 МПа жетеді. Білікте созылу кернеулері $\sigma_y = 295$ МПа және $\sigma_x = 43$ МПа қысу кернеулері қалыптасады (2.12-сурет).



Сурет 2.12 - созылу кезінде осьтік кернеулер өрістерінің таралуы

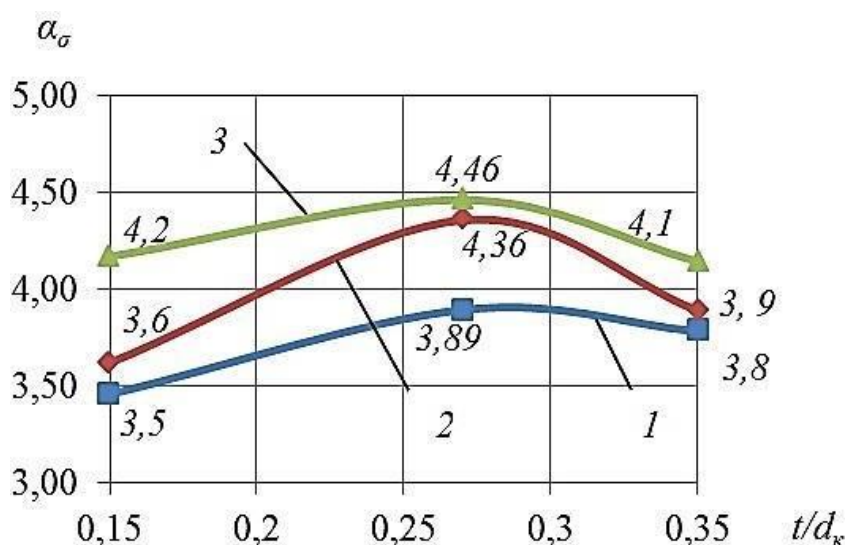
σ_0 біліктердегі, сақинаның $\sigma_{\text{сыртқы}}$ және $\sigma_{\text{ішкі}}$ ішкі беткі қабаттарындағы контурлық кернеулердің таралуы біртекті еместігін атап өткен жөн (2.13-сурет). Сақинаның сыртқы бетіндегі максималды қысу кернеулерінің мәні 67 МПа, ал созылатын кернеулер 50 МПа құрайды. Сақинаның ішкі бетінде қысу кернеулерінің мәні 78 МПа, ал созылу кернеулерінің мәні 6 МПа жетеді. Сақинадағы максималды қысу кернеулері 66 МПа, ал қысу кернеулері 9 МПа. [53].



а-сақинадағы контурлық кернеулер; б-біліктегі контурлық кернеулер

Сурет 2.13 - Керумен қосылымдағы контурлық кернеулердің таралуы

2.14-суретте қосылым биіктігі s 5 мм (1- қисық сызық), 10 мм (2-қисық сызық), 15 мм (3-қисық сызық) болған кезде кернеу концентрациясы коэффициентінің t/d_k қатынасына s қосылымының биіктігі 5 мм болған кездегі тәуелділік графигі көрсетілген.



1-s = 5 мм; 2 - S = 10 мм; 3 – s = 15 мм

Сурет 2.14 - Пластинадағы кернеу концентрациясының коэффициенті

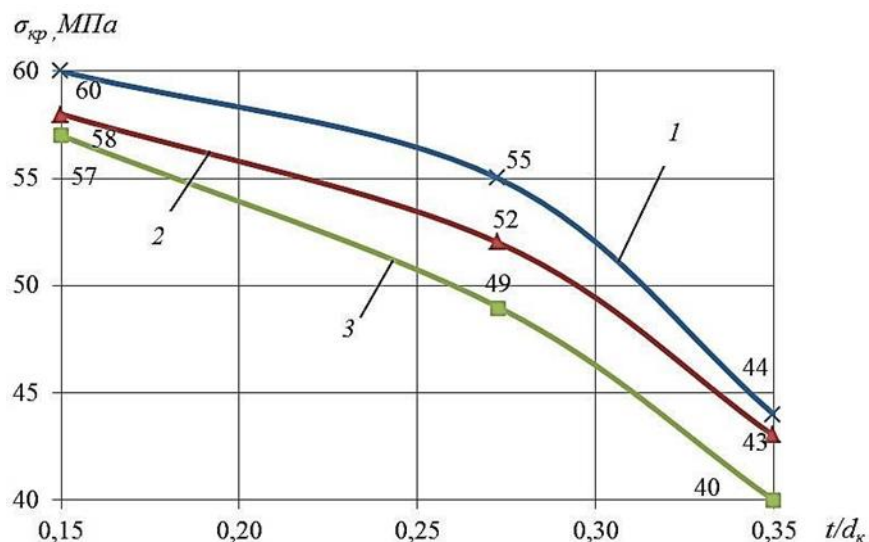
t/d_k арақатынасы 0,15 - тен 0,27-ге дейін ұлғайған сайын α_σ кернеуінің концентрациясы коэффициентінің мәні артады. Мысалы, қосылыстың биіктігі $s=10$ мм болғанда концентрация коэффициенті 3,6-дан 4,36-ға дейін артады. t/d_k қатынасының одан әрі артуы концентрация коэффициентінің төмендеуіне әкеледі.

2.4 Таза ығысу жағдайларындағы өтпелі қондырулармен қосылымдағы ҚДК есептеу

Таза жағдайға ұшыраған қосылыстағы кернеулі деформацияланған күйді зерттеу қызығушылық тудырады. Жүктеменің бұл түрінде, бір осьтік созылу сияқты, жанасудың өзіне тән қимасы (тік) бойынша алшақтығы болады. Бұл бөлімде критикалық жүктемелердің деңгейі $\sigma_0 = \sigma_{кр}$ анықталды және кернеулі деформацияланған күй бағаланды.

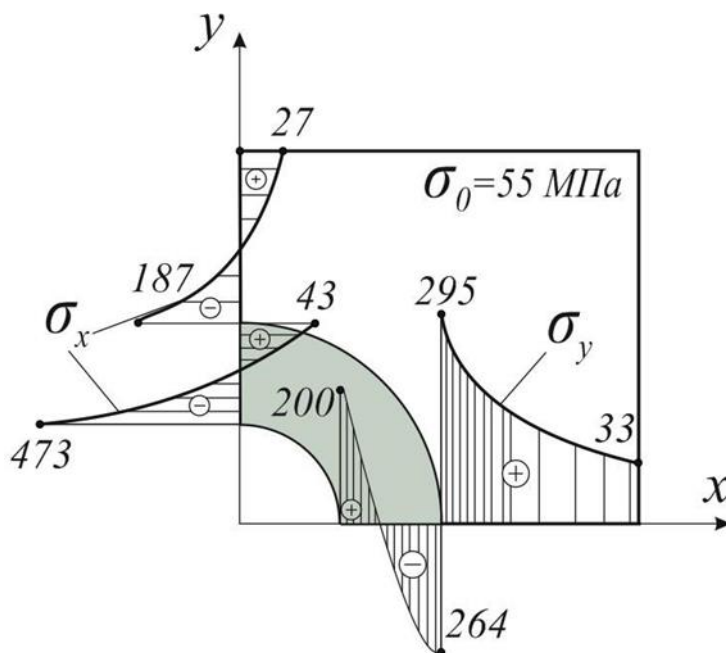
Зерттеу нәтижесінде критикалық кернеудің $\sigma_{кр}$ қосылыстың геометриялық сипаттамаларына тәуелділігі алынды. 2.15-суретте қосылыстың биіктігі s өзгерген кезде максималды жүктеме деңгейі $\sigma_{кр}$ аздап төмендейтіні көрінеді. Алайда, t/d_k қатынасы 0,15-тен 0,35-ке дейін өзгерген кезде шекті жүктеме 30% - ға төмендейді.

2.16-суретте мысал ретінде $\sigma_0 = 55$ Мпа жүктемемен келген кезде биіктігі $s = 5$ мм, сақина қалыңдығы $t = 6,018$ және $d_k = 22$ мм пластинадағы σ_x , σ_y осьтік кернеулерінің өрістерінің бөлінуі ұсынылған.



Сурет 2.15 – Жүктеменің $\sigma_{кр}$ t/d_k : 1 – $s=5$ мм; 2 – $s=10$ мм; 3 – $s=15$ мм қатынасына тәуелділігі

Сақинаның ішкі бетінде созылу σ_y және қысу кернеулері σ_x пайда болады, олардың максимумы сәйкесінше 200 МПа және 473 МПа құрайды (2.16-сурет). Сақинаның сыртқы бетінде қысу σ_y және созылу σ_x пайда болады, олардың максималды мәндері 264 МПа және 43 МПа жетеді.



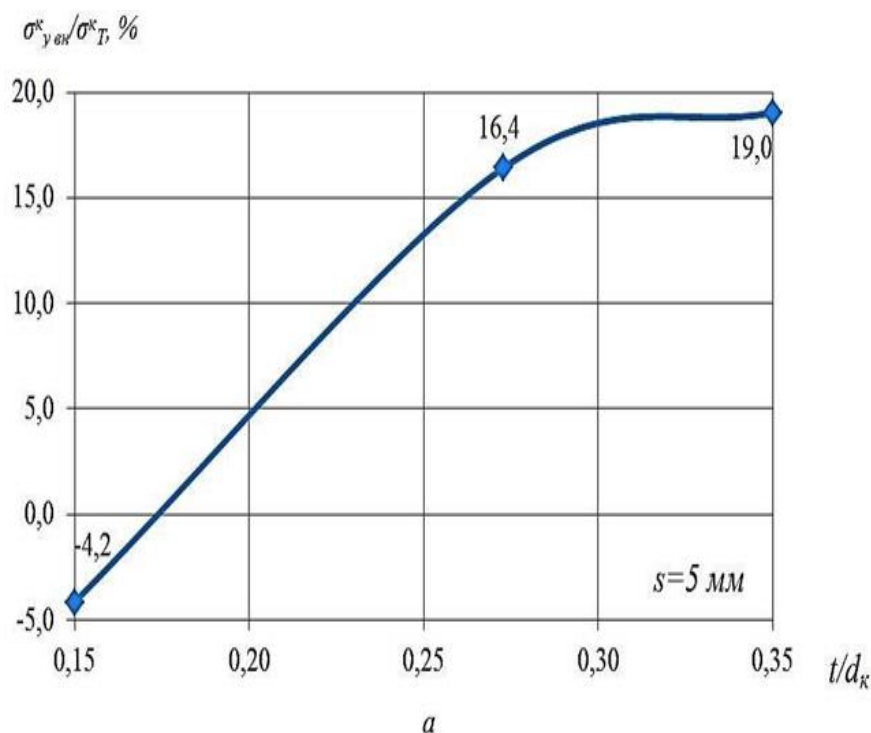
Пластинида $\sigma_y = 295$ МПа $\sigma_y = 295$ МПа және $\sigma_x = 187$ МПа қысу кернеулері пайда болады

Сурет 2.16 - Қозғалтқыш таза болған кезде қосылыстағы кернеу өрістерінің таралуы

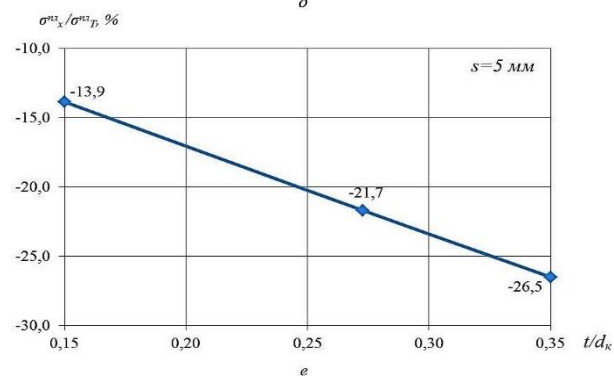
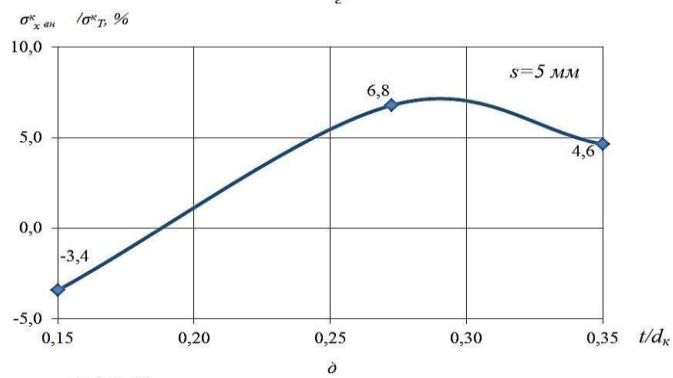
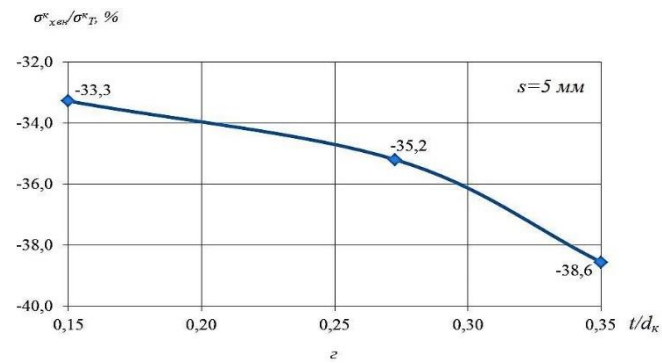
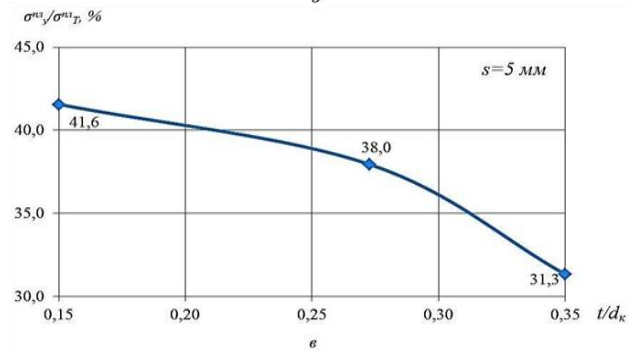
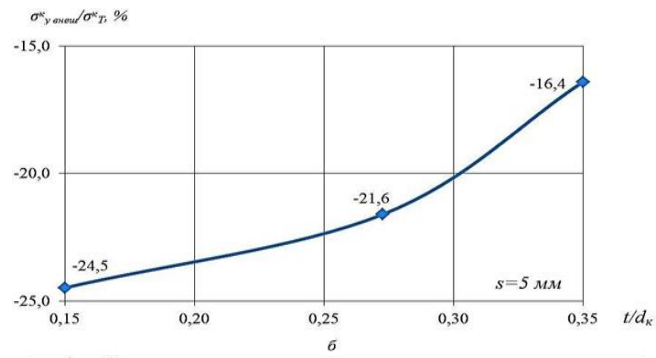
Зерттеулер нәтижесінде сақинаның ішкі бетіндегі сал $\sigma_{y\text{ іш}}^k / \sigma_T^k$, $\sigma_{x\text{ іш}}^k / \sigma_T^k$ (2.18-сурет, а, г), сақинаның сыртқы бетіндегі $\sigma_{y\text{ сыр}}^k / \sigma_T^k$, $\sigma_{x\text{ сыр}}^k / \sigma_T^k$ (2.18-сурет, б, д) және пластинадағы $\sigma_{y\text{ пл}}^{\text{пл}} / \sigma_T^{\text{пл}}$, $\sigma_{x\text{ пл}}^{\text{пл}} / \sigma_T^{\text{пл}}$ (2.18-сурет, в, е) салыстырмалы

кернеудің сақинаның қалыңдығының t сақинаның сыртқы диаметріне қатынасына d_k тәуелділігі алынды. алыстырмалы кернеулердің теріс мәндері қысу кернеулерінің болуын айқындайды.

Сақинаның сыртқы және ішкі бетіндегі $\sigma_{y\text{ сыр}}^k / \sigma_T^k$ және $\sigma_{y\text{ іш}}^k / \sigma_T^k$ салыстырмалы кернеулері t/d_k қатынасының мәнінің сәйкесінше 23,2 және 8,1%-ға жоғарылауымен өсетіні анықталды болады (2.17-сурет,). Салыстырмалы кернеулердің мәндері t/d_k мәне 0,15-тен 0,35-ке дейін жоғарылағанда $\sigma_{x\text{ сыр}}^k / \sigma_T^k$ салыстырмалы кернеу мәндері 33,3-тен 38,6% -ға дейін төмендейтіні анықталды (2.17-сурет, г). 2.17-суретте, δ салыстырмалы кернеулер $\sigma_{x\text{ сыр}}^k / \sigma_T^k$ t / d_k 0,27-ге тең және 6,8% мәнін алғанда максимумға жететіні көрінеді Сақинаның қалыңдығы одан әрі ұлғайған сайын t салыстырмалы кернеулердің мәні 4,6% дейін төмендейді. Қалыңдығы ұлғайған сайын пластинадағы салыстырмалы кернеулер $\sigma_{y\text{ іш}}^k / \sigma_T^k$ және $\sigma_{x\text{ іш}}^k / \sigma_T^k$ сәйкесінше 41,6-дан 31,3%-ға және 13,9-дан 26,5%-ға дейін төмендейді (2.17-сурет, в, е).

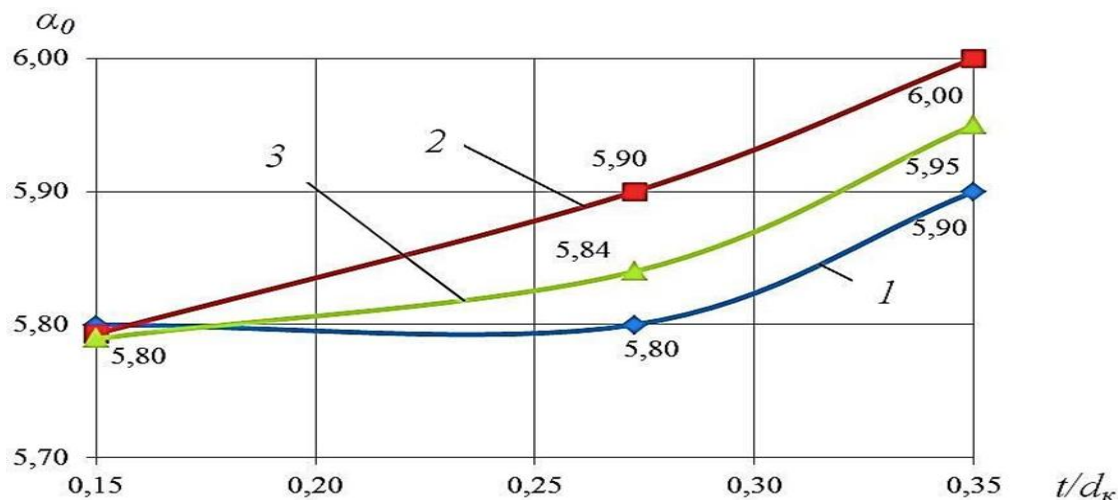


Сурет 2.17 - Керу кезіндегі салыстырмалы осьтік кернеулердің қосылым биіктігі $s = 5$ мм болған кезде t/d_k қосылым параметрлеріне тәуелділігі, 1-бет



Сурет 2.17, 2-бет

Атап өтетін жайт, салыстырмалы кернеулердің сипаты s қосылым биіктігі өзгерген кезде өзгермейді. 2.18-суретте s қосылым биіктігі 5 мм (1-қисық сызық), 10 мм (2-қисық сызық), 15 мм (3-қисық) болған кезде α_0 кернеуінің концентрациясы коэффициентінің t/d_k қатынасына тәуелділігінің графигі бейнеленген.



1-s=5 мм; 2-S=10 мм; 3 – s=15 мм

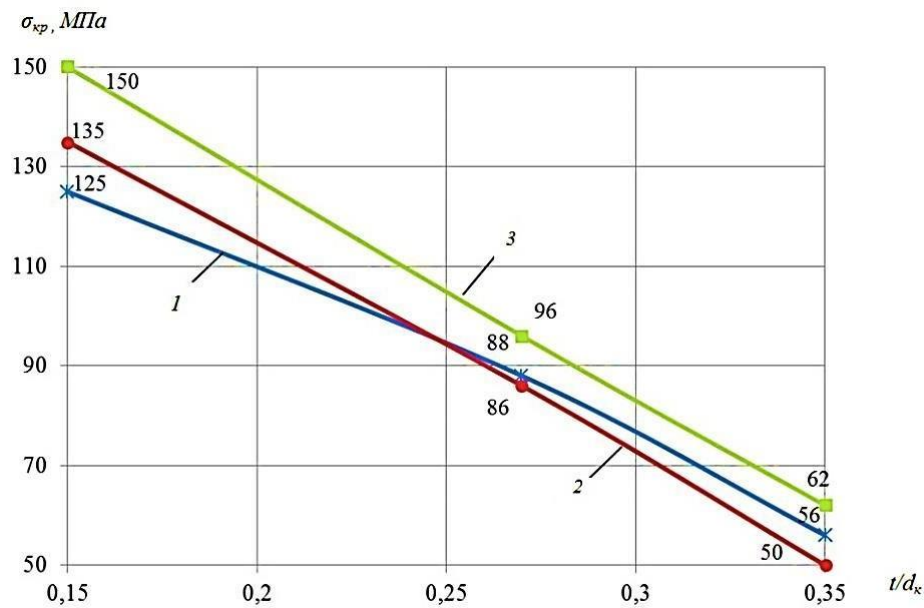
Сурет 2.18 – Таза иілу кезіндегі пластинадағы кернеу концентрациясының коэффициенті

t/d_k арақатынасы ұлғайған сайын 0,15 - тен 0,35-ке дейін α_0 кернеуінің кон-центрация коэффициентінің мәні артады. Мысалы, қосылыстың биіктігі $s=10$ мм болған кезде концентрация коэффициентінің ең қарқынды өсуі байқалады және мәндер 5,8-ден 6,0-ге дейін өзгереді.

2.6 Екі осьті созылу кезінде өтпелі қондырулармен қосылыстың кернеулі-деформацияланған күйін есептеу

Бұл бөлімде тамырлардың кернеу күйіне сәйкес келетін $\sigma_y = 2\sigma_x$ шекарасындағы кернеулермен қосылысты екі осьті созу міндеті қарастырылған. Жүктемелердің шекті деңгейі $\sigma_{кр} = \sigma_y$ анықталды, онда байланыс тұтастығының бұзылуы орын алады және қосылыстың кернеулі деформацияланған күйі бағаланады [54].

Зерттеу нәтижесінде критикалық кернеудің $\sigma_{кр}$ қосылыстың геометриялық параметрлеріне тәуелділігі алынды. 2.19-суреттен s қосылысының биіктігі 5-тен 15 мм-ге дейін өзгерген кезде $\sigma_{кр}$ максималды жүктеме деңгейі 16,7%-ға артатынын анықтауға болады. t/d_k қатынасы 0,15-тен 0,35-ке дейін өзгерген кезде критикалық жүктеменің $\sigma_{кр}$ төмендеуі байқалады. Мысалы, $s = 10$ мм биіктігімен байланысты $\sigma_{кр}$ шамасының ең қарқынды төмендеуі - іс жүзінде 63 %-ға.



1-s=5 мм; 2-S=10 мм; 3 – s=15 мм

Сурет 2.19 - Қосылыстың геометриялық параметрлерінің σ_{kp} мәніне әсері

Сақинаның ішкі бетінде созылу σ_y және қысу кернеулері σ_x пайда болады, олардың максимумы сәйкесінше 117 МПа және 165 МПа құрайды.

Сақинаның сыртқы бетінде максималды мәндері 90 МПа және 41 МПа жететін σ_y қысу және созу σ_x кернеулері пайда болады. Пластинада созылу кернеулері $\sigma_y = 268$ МПа және $\sigma_x = 106$ МПа түзіледі.

Айта өтетін жайт, салыстырмалы кернеулердің сипаты s қосылысының биіктігі өзгерген кезде іс жүзінде өзгермейді.

2.7 Білік – сақина қосылыстарының керілуімен өтпелі қондырулары мен қондырудың ілінісу беріктігін есептеу

Машиналардың сапасын жақсарту кезінде олардың сенімділігіне деген ұмтылыс жобалау процесінде беріктікке әсер ететін барлық факторларды мүмкіндігінше ескеру қажет ең жақсы есептеу әдістерін қолдану қажеттілігін тудырады. Тетіктерді дайындаудың технологиялық процестері беткі қабаттарда пайда болатын қалдық кернеулер берілген жұмыс жағдайында бөлшектердің сенімділігіне кепілдік беретіндей етіп жасалуы керек. Қалдық кернеулерді реттеу әртүрлі абразивті құралдарды өңдеу және пайдалану режимдерін таңдау арқылы мүмкін болады [55].

Есептеу үшін бастапқы деректер:

Қондырулар 40 Н7/м6 және 40 Н7/т6.

Білік материалы – Болат 45Х МЕСТ 4543–71; сақина материалы – Болат 40ХН МЕСТ 4543–71.

$\sigma_1 = 460$ МПа (46 кг/мм^2) - болаттың аққыштық шегі;

$d = 40$ мм – білік пен сақинаның қондыру диаметрі;

$d_1 = 0$ мм – білік тесігінің осьтік диаметрі;

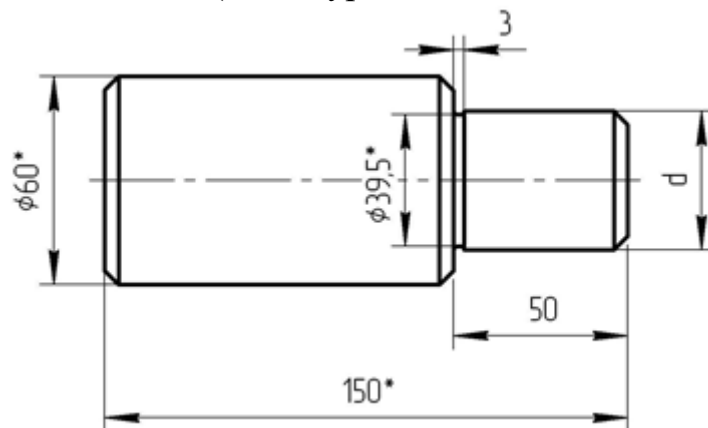
$d_2 = 100$ мм – сақинаның сыртқы диаметрі;

$M_k = 19000$ кгс·мм – өтпелі қондыруға арналған біліктің айналу моменті;

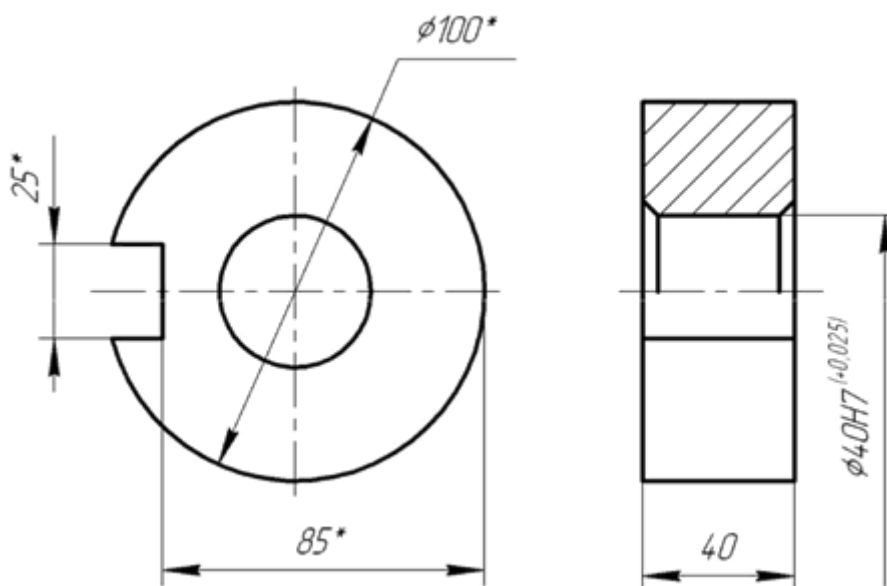
$M_k = 20000$ кгс·мм – керілісті қондыруға арналған айналу моменті;

$L = 40$ мм – қондыру ұзындығы;

Есептеулер максималды тартылыс кезінде алынған ($N_{max} = 25$ мм – қондырғы үшін $\text{Ø}40$ H7/m6 және $N_{max} = 64$ мм – қондырғы үшін $\text{Ø}40$ H7/t6) білік (2.20-сурет) және сақина (2.21- сурет).



Сурет 2.20 - Білік сызбасы



Сурет 2.21 - Сақина сызбасы

Өтпелі қондыруының есептеулерін қарастырайық $\text{Ø}40$ H7/m6. Біліктік сақина айналу моментінің әсеріне түсетін болатындықтан ұштасатын қабаттарға түсетін қысымды анықтаймыз:

$$P = 2 \cdot K_{cy} \cdot M_k / (3.14 \cdot d^2 \cdot L \cdot f) = 2,701 \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.3)$$

Бұл жердегі $K_{cy} = 2$ – ілінісудің қалдық коэффициенті; $f = 0,14$ – қыздырып біріктіру кезіндегі ілінісудің үйкеліс коэффициенті.

Басқа жағынан қарасақ қысым тең болып шығады:

$$P = N_{eccen} / [10^3 \cdot d \cdot (C_1/E_1 + C_2/E_2)] \quad (2.4)$$

Бұл жердегі $C_1 = (d^2 + d_1^2)/(d^2 - d_1^2) - \mu_1 = (40^2 + 0^2)/(40^2 - 0^2) - 0,3 = 0,7$;

$C_2 = (d_2^2 + d^2)/(d_2^2 - d^2) + \mu_2 = (100^2 + 40^2)/(100^2 - 40^2) + 0,3 = 1,681$;

$E_1 = 20000$ кгс/мм² и $E_2 = 20000$ кгс/мм² - білік пен сақина материалдары үшін беріктік модульдері; $\mu_1 = 0,3$ және $\mu_2 = 0,3$ - білік пен сақина материалдары үшін Пуассон коэффициенті.

(1) формуланы есепке ала отырып (2) формуладан шығатының табамыз

$$N_{eccen} = 2,701 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot (0,7/20000 + 1,681/20000) = 13 \text{ мкм} \quad (2.5)$$

Беттің кедір-бұдырлықғын ескеріп түзету

$$U = 1,2 \cdot (Rz1 + Rz2) = 1,2 \cdot (5 + 5) = 12 \text{ мкм}$$

Бұл жерде $Rz1 = 5$ -білік қабатының кедір бұдырлығы; $Rz2 = 5$ -сақина тесігі қондыруының кедір бұдырлығы ([1]).

Өлшенген керіліс $N_{өлш} = N_{eccen} + U = 25 \text{ мкм}$

Тетік қамти алатын мөлшерде, максималды жанасатын қысым:

$$[p]_{max} = 0,5 \cdot \sigma_t \cdot [1 - d/d_2]^2 = 0,5 \cdot 46 \cdot [1 - 40/100]^2 = 19,32 \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.6)$$

Тетік жанасатың бөлігінің беріктігіне кепілдік беретін максималды деформация:

$$\Delta = [p]_{max} \cdot N_{расч} / p = 19,32 \cdot 13 / 2,701 = 93 \text{ мкм} \quad (2.7)$$

Жанасатың бөліктің беріктігіне кепілдік беретін ең жоғары рұқсат етілген керіліс:

$$[N]_{max} = \Delta + U = 105 \text{ мкм} > N_{max} = 25 \text{ мкм} \quad (2.8)$$

Тандап алынған қосылыстан шығатын N_{max} керіліс қысымы:

$$p_{max} = (N_{max} - U) \cdot p / N_{расч} = (25 - 12) \cdot 2,701 / 13 = 2,701 \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.9)$$

Өтпелі қондырғының ілінісу беріктігінің кепілдігі және білік сақина байланысы тексерілген есептеулермен расталған:

1) қамтитын тетіктің: ұзындыққа $\sigma_p = p_{max} [1 + d/d_2]^2 / [1 - (d/d_2)^2] = 3,7 \text{ кгс/мм}^3 < [\sigma]_p = 16 \text{ кгс/мм}^2$ – болат үшін 40ХН [2]; жылжуы $\tau_c = p_{max} / [1 - (d/d_2)^2] = 3,2 \text{ кгс/мм}^2 < [\tau]_{cp} = 9 \text{ кгс/мм}^2$ – болат үшін 40ХН[2];

2) қамтитын тетіктің қысуына $\sigma_c = p_{max} = 2,701 < [\sigma]_c = 13 \text{ кгс/мм}^2$ – болат үшін 45Х

Өтпелі қондырғының есептеулерін қарастырайық Ø40 Н7/т6. Біліктік сақина айналу моментінің әсеріне түсетін болатындықтан ұштасатын қабаттарға түсетін қысымды анықтаймыз:

$$P = 2 \cdot K_{cy} \cdot M_K / (3.14 \cdot d^2 \cdot L \cdot f) = 2,843 \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.3)$$

Бұл жердегі $K_{cy} = 2$ – ілінісудің қалдық коэффициенті; $f = 0,14$ – қыздырып біріктіру кезіндегі ілінісудің үйкеліс коэффициенті.

Басқа жағынан қарасақ қысым тең болып шығады:

$$P = N_{расч} / [10^3 \cdot d \cdot (C_1/E_1 + C_2/E_2)] \quad (2.4)$$

Бұл жердегі $C_1 = (d^2 + d_1^2) / (d^2 - d_1^2) - \mu_1 = (40^2 + 0^2) / (40^2 - 0^2) - 0,3 = 0,7$;

$C_2 = (d_2^2 + d^2) / (d_2^2 - d^2) + \mu_2 = (100^2 + 40^2) / (100^2 - 40^2) + 0,3 = 1,681$;

$E_1 = 20000 \text{ кгс/мм}^2$ и $E_2 = 20000 \text{ кгс/мм}^2$ - білік пен сақина материалдары үшін беріктік модульдері; $\mu_1 = 0,3$ және $\mu_2 = 0,3$ – білік пен сақина материалдары үшін Пуассон коэффициенті.

1 формуланы есепке ала отырып (2) формуладан шығатының табамыз

$$N_{есен} = 2,843 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot (0,7/20000 + 1,681/20000) = 14 \text{ мкм} \quad (2.5)$$

Беттің кедір-бұдырлықғын ескеріп түзету

$$U = 1,2 \cdot (Rz1 + Rz2) = 1,2 \cdot (5 + 5) = 12 \text{ мкм}$$

Бұл жерде $Rz1 = 5$ -білік қабатының кедір бұдырлығы; $Rz2 = 5$ -сақина тесігі қондыруының кедір бұдырлығы [1].

Өлшенген тартылыс $N_{олш} = N_{есен} + U = 25 \text{ мкм}$

Тетік қамти алатын мөлшерде, максималды жанасатын қысым:

$$[p]_{max} = 0,5 \cdot \sigma_t \cdot [1 - d/d_2]^2 = 0,5 \cdot 46 \cdot [1 - 40/100]^2 = 19,32 \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.6)$$

Тетік жанасатын бөлігінің беріктігіне кепілдік беретін максималды деформация:

$$\Delta = [p]_{max} \cdot N_{расч} / p = 19,32 \cdot 14 / 2,701 = 95 \text{ мкм} \quad (2.7)$$

Жанасатың бөліктің беріктігіне кепілдік беретін ең жоғары рұқсат етілген керіліс:

$$[N]_{max} = \Delta + U = 107 \text{ мкм} > N_{max} = 64 \text{ мкм} \quad (2.8)$$

Тандап алынған қосылыстан шығатын N_{max} керіліс қысымы:

$$p_{max} = (N_{max} - U) \cdot p / N_{расч} = (64 - 12) \cdot 2,843 / 14 = 10,5597 \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.9)$$

Өтпелі қондырғының ілінісу беріктігінің кепілдігі және білік сақина байланысы тексерілген есептеулермен расталған:

3) қамтитын тетіктің ұзындыққа

$\sigma_p = p_{max} [1 + d/d_2]^2 / [1 - (d/d_2)^2] = 3,7 \text{ кгс/мм}^2 < [\sigma]_p = 16 \text{ кгс/мм}^2$ – болат үшін 40ХН [2]; жылжуы $\tau_c = p_{max} / [1 - (d/d_2)^2] = 3,2 \text{ кгс/мм}^2 < [\tau]_{cp} = 9 \text{ кгс/мм}^2$ – болат үшін 40ХН[2];

4) қамтитын тетіктің қысуына $\sigma_c = p_{max} = 10,5597 < [\sigma]_c = 13 \text{ кгс/мм}^2$ – болат үшін 45Х.

Кейде тетіктердің сыртқы қабаттарында жоңғалаудан кейін кернеу 60-80 кг/мм² дейін жетеді. Кернеуді азайту үшін термиялық өңдеу қолданады.

Екінші тарау бойынша қорытынды

TI-6AL-4V наноқұрылымдық титан қорытпасынан тесіктерге престелген сақиналары бар кәдімгі материалдардан жасалған пластиналардағы ҚДК есебі орындалды:

- * бір осьті жүктеме кезінде;
- * таза ығысуда;
- * екі осьті созу кезінде.

t/d_k қатынасының технологиялық кернеулерінің бөлінуіне зерттеу жасалды.

Ең кернеулі орын болып сақинаның ішкі бос беткі қабаты табылатыны анықталды. t/d_k қатынасы ұлғайған кезде сақинадағы салыстырмалы кернеулердің мәні төмендейтіні анықталды. Пластинада салыстырмалы кернеулер $t/d_k = (0,15 \div 0,27)$ болған кезде 8,6-дан 10,5% - ға дейін өседі, содан кейін төмендеу байқалады. Қосылым биіктігінің өзгеруі салыстырмалы кернеулердің таралу үлгісіне әсер етпейтіні атап өтілді. Байланыс қысымының шамасы $t/d_k = 0,27$ болған кезде $p_k = 74 \text{ МПа}$ –ға дейін ұлғаятыны анықталды. Ұтынастың одан әрі артуы байланыс қысымының айтарлықтай төмендеуіне әкеледі.

Критикалық кернеудің $\sigma_{кр}$ байланыс бұзылу орын алған қосылыстың геометриялық сипаттамаларына тәуелділігі алынды. t/d_k қатынасы жоғарылаған сайын бір осьтік керілу кезінде критикалық кернеудің 23,4% - ға дейін төмендейтіні анықталды.

α_σ концентрациясының тәуелділігі анықталды. тәуелділігі анықталды. $t/d_k = 0,27$ жеткен кезде концентрация коэффициенті артады, содан кейін төмендеу байқалады. t/d_k арақатынасының жоғарылаған сайын таза ығысу жағдайында критикалық кернеудің 30% -ға төмендейтіні анықталды. t/d_k қатынасы артқан сайын концентрация коэффициенті 5,8-ден 6-ға дейін өсетіні анықталды.

3 АСПАПТЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ЖӘНЕ КЕСУ ЖАҒДАЙЛАРЫНЫҢ ҚАЛДЫҚ КЕРНЕУЛЕРГЕ ӘСЕРІ

3.1 Кесу жағдайларының функционалдық мақсаты

Материалдарды кесіп өңдеу үрдісінің рационалды өткізуі машина тетіктерін жасаудың сапасы мен тиімділігіне байланысты болып келеді. Оған төмендегілер жағдайлар жатады:

а) аспаптың кесу бөлігінің қалақтарының қайрау және геометриялық параметрлері оңтайлы және сапалы болса;;

б) дайын өнімді өңдеу экономикалық және техникалық тиімді тісті берілістер мен кесу жылдамдықтарында жүргізілсе;

в) біліктің кесу және беріліс жылдамдықтарында қорапты механизмдердің динамикалық және кинематикалық мүмкіндіктеріне негізделген кесу және беріліс жылдамдықтарының нәтижелік мәндерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Кесу процедурасы - тереңдіктің, кесу кезіндегі бұйымның геометриялық параметрлерінің, тісті берілістің, кесу жылдамдығының, құралдың тұрақтылығының, сондай-ақ кесу күшіне, қуатқа және басқа жұмыс параметрлеріне тәуелділіктің сандық нәтижелік мәндерінің бірлескен жиынтығы. кесу процесі, кесу процесінің техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне әсер ететін факторлар.

Егер кесу процесінде тәртіптік параметрлердің алынған мәндері жоғары экономикалық және техникалық көрсеткіштерді алуға мүмкіндік берсе, онда кесу процедурасы ұтымды болады. Режим параметрлері өзара байланысты болғандықтан, олардың ешқайсысын өзгерту мүмкін емес. Кесу режимін тағайындау және таңдау кезінде тиісті жұмыс түрін алу үшін барлық параметрлердің нақты мәндерін, жабдықтың қолда бар мүмкіндіктерін және орындау жағдайын ескеру қажет. Көптеген әсер ететін факторларды ескеру қажеттілігі келесі мәселелерге әкеледі: кесу режимін уақыт бойынша есептеу сонымен қатар тапсырма есептерін шешу үшін жуықтау әдісін қолдануды талап етеді, яғни біріне алдын ала стандартты мәндерді беру. басқа параметрлерді ескере отырып, параметрлерді, содан кейін соңғы мәндер алынғанша оларды түзету. , есептеледі және анықталады. Соңғы мәндер берілген жұмыс процесін жүзеге асыруды пайдаланады. Кейде қойылған міндеттерді шешу көп нұсқалы болуы мүмкін, яғни қойылған талаптар бірнеше режим параметрлерінің комбинациясы арқылы қанағаттандырылады [56].

Кесу режимін анықтаудың қажетті шарты - жақсартылған операциялар мен әрекеттері бар технологиялық процесс және жұмысшылардың төлқұжат деректері.

Рационалды кесу режимін таңдау элементтері: құралдың кесу қасиеттерін және жабдықтың кинематикалық мүмкіндіктерін тиімді пайдалануды ескере отырып, бұл кесу жылдамдығы мен берілістің ең пайдалы комбинациясын таңдау, ол жұмыстың ең аз шығындарын қамтамасыз етеді. қоғамдық еңбек өнімділігі.

Негізгі өңдеу уақытын қысқарту үшін мүмкіндігінше үлкен өңдеу механизмдері мен жылдамдықтарын пайдалану қажет. Бұл жағдайда құралды дайындаудың техникалық шарттарын сақтай отырып, құралдың кесу қабілетін және оның беріктігін толық пайдалану қажет.

3.2 Негізгі режим параметрлерін алдын ала таңдау

Әдетте, негізгі режим параметрлерін таңдау кесу тереңдігін анықтаудан басталады. Кесу тереңдігінің мәні берілген технологиялық операция үшін қалған металдың түріне байланысты. Кесу тереңдігі жону, бұрғылау және фрезерлеу кезінде кесудің тұрақтылығы мен жылдамдығына айтарлықтай әсер етеді. Сондықтан өңдеу түріне байланысты өңдеу кезінде кесудің максималды тереңдігін орнатуға болады. Соңғы операцияларда ауытқу 0,5 мм-ден аспайды. Кескіштің бір өтуінде 7 мм-ден азын алуға болады. Бұл жағдайда жұмыстың кесу тереңдігі өңдеу әдісіне тең, егер кесу тереңдігі критикалық мәндерден асып кетсе, бүкіл технологиялық жүйеде діріл пайда болуы мүмкін.

Сондықтан, егер ұшы 7 мм-ден көп болса, ол бірнеше кескіш өтуде алынады, ал кесу тереңдігі әр өтуде бірдей немесе оның ретін анықтайды.

Азық мөлшері, сондай-ақ кесу тереңдігі технологиялық операция түріне байланысты анықталады. Соңғы өңдеу операциялар/айналымдар арқылы жүзеге асырылады. Аралық пішін операциялардағы деректер көлемін көрсетеді. Әзірлеу кезінде өңдеу уақытын қысқарту үшін олар тісті дөңгелектермен операцияларды орындауға бейім. Өңдеу 30 мм-ге дейінгі тереңдікте және 1,5 мм/айн жылдамдықпен жүзеге асырылады [57].

Әдетте, аралық беріліс таңдауын $5 < \frac{t}{S} < 7$ қолдануға болады. Егер операция кезінде басты назар өңделетін беттің сапасына аударылса, онда $8 < \frac{t}{S} < 10$ беріліс қатынасын шектеуге болады, яғни беріліс өлшемі $S = (0.18...0.2)t$ көлемде таңдалады. Егер де өңдеу өнімділігі маңызды параметр болса, $5 < \frac{t}{S} < 7$ қатынасты қолданған дұрыс, яғни бастапқы беру мәні $S = (0.18...0.2)t$ және бірдей кесу жылдамдығында орындалатын жұмыс өнімділік болады.

Осылайша, технологиялық операцияның мақсатына байланысты жоғарыда келтірілген ұсыныстарды ескере отырып, алдын ала кесу тереңдігінің мәнін таңдауға және берілістің алдын ала мәндерінің диапазонын анықтауға болады.

Кесу жылдамдығының бастапқы мәні (1) теңдеумен есептеледі:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} \cdot K_{жс} \quad (3.1)$$

мұндағы: кесу тереңдігі ($t, мм$) және таңдалған беріліс ($S, мм/айн$) диапазоны белгілі.

Тұрақтылық T (мин) стандартты үлгілердің көрсетілуіне байланысты орындалатын операциялардың сипаттамасына және құралдың материалына байланысты. Бұл ретте ол белгілі бір тұрақтылық мәндерінің ауқымын қабылдайды. Мысалы, аралық штамптау операцияларындағы карбидті кескіштердің құралдың қызмет ету мерзімі 30-45 минут арасындағы алдын ала кезеңде орнатылуы мүмкін.

(3.1) теңдеу бойынша кесу жылдамдығының екі мәні есептеледі: үлкені беріліс қатынасы мен тұрақтылығының төменгі мәндеріне сәйкес келеді; кішіректері үлкен беріліс пен тұрақтылық мәндеріне сәйкес келеді. Анықталған кесу жылдамдығының мәндеріне сүйене отырып, дайындаманың көрсетілген диаметріне (D , мм) байланысты (3.2) теңдеуімен екі айналу жиілігінің мәндерін табамыз:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \text{ мин}^{-1} \quad (3.2)$$

Сонымен, біз айналу жылдамдығының диапазонын анықтаймыз. Осы аралықтан қолдың кинематикасымен қамтамасыз етілген белгілі жылдамдықтың мәнін таңдауға болады.

3.3 Негізгі режим факторларын таңдау

Кесу режимін алдын ала орнату кезінде режим параметрлерінің мәндерінің интервалдарын орнатады. Бұл аралықта құралға берілген тұрақтылық және өңделетін құралдың сапасы мен дәлдігіне қойылатын талаптар орындалады. Келесі қадам режимнің негізгі параметрлерінің нақты жұмыс мәндерін таңдауды қарастырады. Кесудің жұмыс тереңдігі әдетте операцияның қалыпты өлшеміне тең. Жұмыс механизмі білік редукторында бар сандардан таңдалады және бұл мән берілген беріліс мәндерінің арасында болуы керек. Айналу жылдамдығы білік айналу қорабындағы сандардан алынады, бұл ретте таңдалған айналымның айналу жылдамдығы алдын ала қадамда орнатылған төмен және жоғары жылдамдықтар арасында болуы керек. Егер пышақтың кинематикалық мүмкіндіктеріне байланысты алдын ала сатыда орнатылған беріліс қатынасы мен айналу жылдамдығының аралық мәндерін бір мәнмен емес, бірнеше нақты мәндермен орнатуға болатын болса, онда оларды таңдау міндетті болуы керек. логикалық ойлауға, өңдеу өнімділігі мен өңделетін механизмдердің сапасына қойылатын талаптарды ескере отырып [58,59,60,61].

Белгіленген операцияның негізгі жұмыс параметрлерінің (t, S, T, v) мәндеріне байланысты қалған жұмыс режимдерінің параметрлері және сәйкес техникалық-экономикалық көрсеткіштер есептеледі.

3.4 Бастапқы жұмыс параметрлерін есептеу

Режимнің негізгі параметрлерін $(t, S, T$ және $n)$ белгілей отырып, режимнің қалған параметрлері келесі ретпен есептеледі.

Жұмыстың кесу жылдамдығы $v, м/мин$, егер таңдалған жылдамдық белгілі болса, n айн/мин, (3.1) теңдеу бойынша есептеледі:

$$v = 10^{-3} \pi D n, м/мин$$

Кескіштің қызмет ету мерзімі T , мин, (3.1) теңдеумен есептеледі:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v} \left(\frac{HB}{200} \right)^{z_v}},$$

тұрақтылыққа қатысты есептелген, яғни.

$$T = \left(\frac{C_v}{v \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v} \left(\frac{HB}{200} \right)^{z_v}} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (3.3)$$

бұл мән таңдалған 30...45 минут аралығында болуы керек.

Егер кесу жылдамдығынан басқа барлық кесу режимдері тұрақты болса, онда

$$C_{ov} = \frac{C_v}{t^{x_v} \cdot S^{y_v} \left(\frac{HB}{200} \right)^{z_v}} = const \quad (3.4)$$

тұрақтылық мәнін мына түрде алуға болады:

$$T_{ov}^{\frac{1}{m}} \cdot v^{\frac{1}{m}} \quad (3.5)$$

Кесу күші. Егер кесу тереңдігі t , беріліс жылдамдығы S және дайындаманың қаттылығы HB белгілі болса, онда кесу процесінде пайда болатын күш келесі теңдеумен есептеледі:

$$\rho = C_p t^{x_p} S^{y_p} \left(\frac{HB}{200} \right)^z v^{n_p} \quad (3.6)$$

Көптеген зерттеулерден белгілі болғандай, бөлшектің беткі қабатын (БК) ұстара құралымен өңдеу кезінде бастапқы және қалдық кернеулер құралдың кесу бөлігінің геометриясына, өңдеу режиміне, кесу күйіне тікелей байланысты.

серіппе, технологиялық жүйені салқындату жүйесі (ТЖСЖ) және басқа факторлар. Ұстараны өңдеудің ең тән режимдерін қарастырайық - тегістеу және жылтырату, өйткені олар әртүрлі құрал геометриялары мен өңдеу режимдері үшін бастапқы кернеулердің қалыптасу процесіндегі ерекшеліктерді айқын көрсетеді. [62].

Күйдіруден кейінгі қалдық кернеулер 45, 20, U8A көміртекті болаттан, сондай-ақ төмен көміртекті болаттан (0,08% С – «Армко-темір») жасалған сақина үлгілерінде зерттелді. [61]. 45, 12x13 щеткадан кейінгі тақталардағы қалдық кернеулер; 20x13; 15x11MF; болат 14x17N2, сондай-ақ VTZ-1; VT-5; Ол TS-5 титан қорытпасының жалпақ үлгілерінде зерттелді.

Бөлшектерді өңдеу R18, R14M5K25 жоғары жылдамдықты болаттан жасалған кескіштермен және T15K6, VK8 қатты қорытпаларынан жасалған. Токарлық станоктың кескіштерінің геометриясы келесідей болды.: $\gamma = 15^{\circ}$; $\alpha = 8^{\circ}$; $\varphi = 45^{\circ}$; $\varphi_1 = 20^{\circ}$; R = 1 мм.

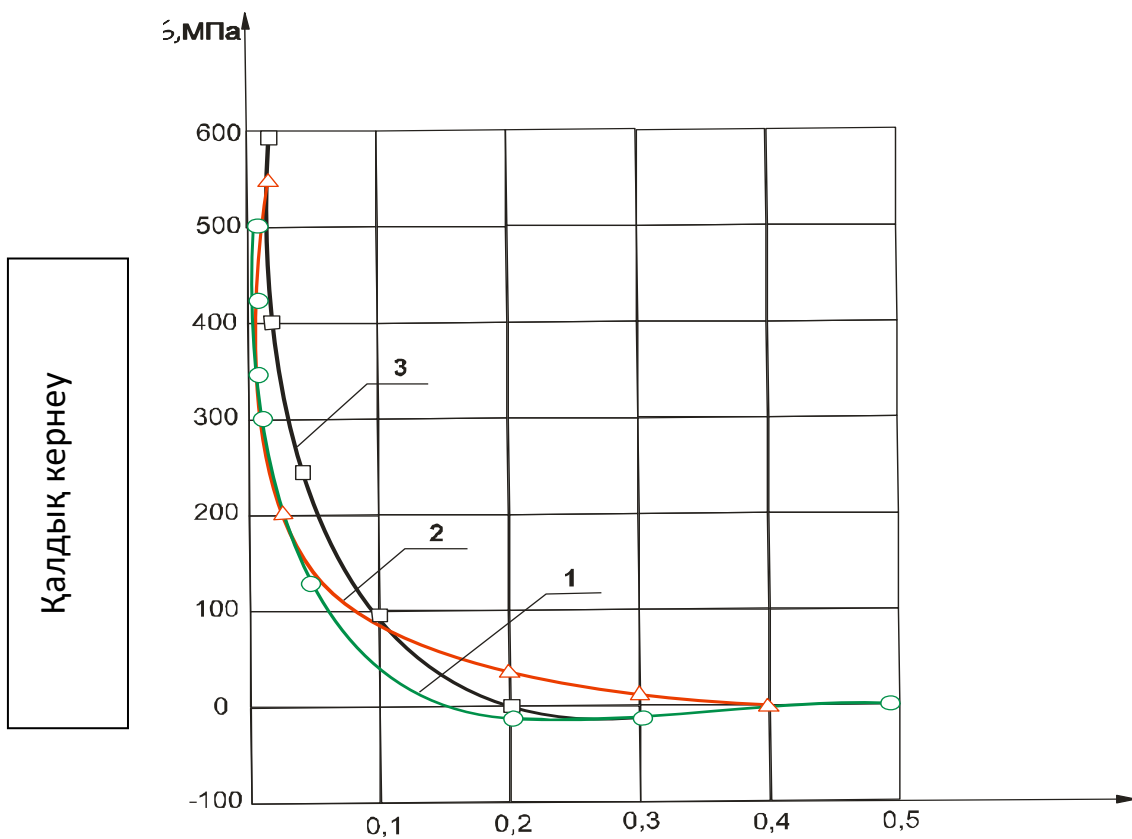
Жану кезіндегі негізгі тәжірибелер - кесу тереңдігі $t = 1$ мм, тісті

$S = 063$ мин/айн, кесу жылдамдығы $V = P18$ кескіштер үшін 50 м/мин, T15K6 кескіштер үшін $V = 100$ м/мин салқындатусыз 45° С температурада орындалды. 45 болаттың құрылымы ұсақ түйіршікті және сорбит тәрізді перлит және феррит түйіршіктерінен тұрады. Технологиялық факторлардың ішінде тетіктің беткі қабатының қалыптасуына күшті әсер ететін кесу жылдамдығын жатқызуға болады. Сондықтан кесу жылдамдығының кең диапазоны 3 м/минден 730 м/мин дейін зерттелді. Үлгілерді өңдеу 100 м/мин кесу жылдамдықтарында – P18 қорытпасынан кескіштерде, ал 100 м/мин жоғары жылдамдықта – T15K6 қатты қорытпасының кірістірулері бар кескіштерде жүргізілді.

Көміртекті болатты ұнтақтау кезінде беткі қабаттың түзілу процесі, әсіресе тұздың даму және бұзылу аймағында ($V = 3...90$ м/мин) қиынырақ.

3-тен 100 м/мин кесу жылдамдығында беткі қабаттағы қалдық кернеулердің таралу диаграммасы (бір типті төрт үлгі үшін орташа диаграммалар) күріш.

Кесу жылдамдығының жоғарылауымен алдыңғы қабаттағы қалдық кернеулердің таралуында сапалық өзгерістер орын алатынын атап өткен жөн. 3 м/мин кесу жылдамдығында қалдық қысу кернеулері бет қабатының бүкіл тереңдігінде әрекет етеді. Кесу жылдамдығының жоғарылауымен олардың мөлшері азаяды, қалдық кернеулер 10 микроннан астам тереңдікте қалыптасады, ал кесу жылдамдығы 17 ... 50 м / мин және 80 ... 150 мкм тереңдікте олар 20 болады. ... 45 кесу жылдамдығы 77.. .100 м/мин, мкм тереңдікте қайтадан қалдық қысым кернеулеріне айналады. Ең маңызды кернеулердің беткі қабаттың тереңдігіне ығысуы байқалады. Кесу жылдамдығы артқан сайын максималды кернеу мәні де артады және беткі қабаттағы қысу кернеулерінен белгілі бір тереңдіктегі созылу кернеулеріне ауысады. Әдетте, ығысу жылдамдығы арасындағы шағын қалдық қысу кернеулері қалдық созылу кернеулеріне айналуы мүмкін. [63].

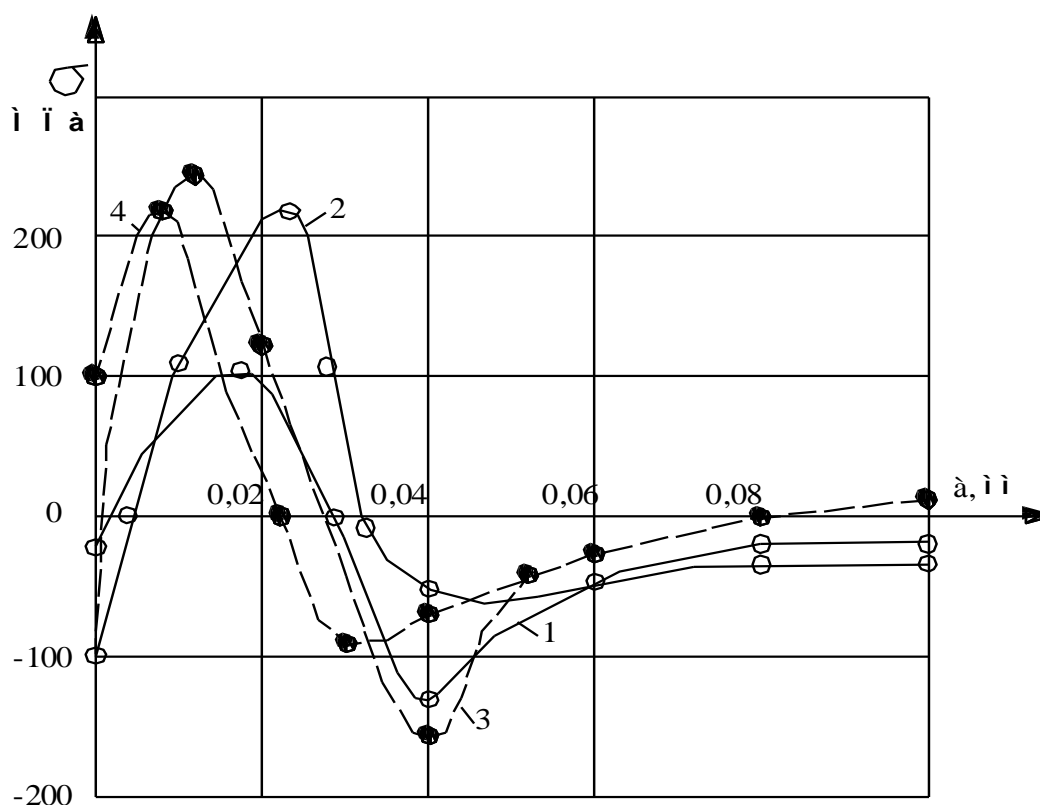


Таралу тереңдігі, Δ а мм. 1- $V=21$ м/мин, 2- $V=31$ м/мин, 3- $V=61$ м/мин

Сурет 3.1 - Кесу жылдамдығының (V м/мин) қалдық кернеулерге тигізетін ықпалы

Кесу жылдамдығының жоғарылауымен бұрғы кішірейеді, ал $V = 50$ м/мин кезінде ол шамалы болады, бірақ оның төбесі сүйір болып, кесу аймағында және беткі қабатта металл түйірлерінің деформациясын тудырады. Бөлшектерді өңдеу жылдамдығы $V = 77$ м/мин кезінде іс жүзінде ешқандай ығысу жоқ, тек кескіштің алдыңғы жиегінен жоғары баяулаудың кішкене аймағы ғана бар. Осылайша, теңіз түзілу аймағында жұмыс істегенде, бастапқы кернеулердің таралу шамасы мен сипаты теңіздің көлеміне, оның төбесінің пішініне және тұрақтылық дәрежесіне тікелей байланысты. Кесу жылдамдығының жоғарылауымен қатар кесу аймағындағы және беткі қабаттағы металдың температурасы жоғарылайды, өңделетін металдың динамикалық аққыштық шегі жоғарылайды, ал беткі қабатта пластикалық деформацияның таралуы төмендейді. Мұның бәрі бастапқы созылмалы стресстің төмендеуіне әкеледі. Бұл кезде бастапқы созылмалы кернеудің максималды деңгейі жоғарылайды, 50 м/мин жылдамдықпен максималды мәніне жетеді, содан кейін төмендей береді. Жоғары кесу жылдамдығының (100 м/мин және одан да көп) бастапқы және қалдық кернеулерге әсерін зерттеу үшін үлгілер жоғары жылдамдықты болат кескіштермен бірдей жағдайларда Т15К6 қатты легирленген таспалармен өңделді. Дегенмен, бет қыртысын қалыптастыру процесі өткір азу тістермен өңдеуге қарағанда күрделірек екені белгілі. 100 м/мин кесу жылдамдығында үлкен тежегіш қабат және тіпті аз мөлшерде тұз қалады. Бойлық қалдық

кернеулер бөлшектің беткі қабатына терең енеді (3.2-сурет). Кесу жылдамдығы 150м/мин асатын болса, бұрғы толығымен жойылып, тежеу қабатының қалыңдығы өте жұқа болады. Беткі қабаттың түзілу жағдайы тұрақтанады, ал бөлшектер бетінің көлденең кедір-бұдырлығы (беру бағытында) әрең өзгереді. Бет қатпарының бастапқы кернеулерінің тереңдеуі де тұрақтанады. Бастапқы және қалдық созылмалы кернеулер кесу жылдамдығының жоғарылауымен өседі. Мысалы, кесу жылдамдығының 7 есе артуымен созылмалы қалдық кернеулердің максималды мөлшері 2 есе артады. [62, б 66-73].



1 – 100 м/мин; 2 – 200 м/мин; 3 – 300 м/мин; 4 – 730 м/мин

Сурет 3.2 - 45 болатты Т15К6 кескішімен жонған кезде кесу жылдамдығының (V, м/мин) тангенциалды станок кернеулеріне тигізетін ықпалы

Жұқа беттік қабатта қысу кернеулерінің өзгеруінде көрінетін заңдылық жоқ, оны беткі қабаттың құралдың артқы жиегімен жанасу нүктесінде болатын процестердің тұрақсыздығымен түсіндіруге болады (екінші реттік аймақта). деформациялар), сондай-ақ осы беттердегі қыздырумен байланысты процестермен.

Беткі қабаттың қалыптасу процесі жоғары жылдамдықпен жүретініне қарамастан, оның құрылымына, физикалық-механикалық қасиеттеріне, кернеу күйіне температура әсер етуі әбден мүмкін. Термиялық көпіршікті кесу аймағындағы температураны зерттеу оның V = 100 м/мин кезінде 5500 С-тан V = 700 м/мин кезінде 800...9500 С-қа дейін өсетінін көрсетті. Бұл температурада беткі қабат термопластикалық деформацияға ұшырауы мүмкін, бұл бастапқы

созылмалы кернеулердің пайда болуына әкеледі. Бұл жағдайда металдың жергілікті серпімділігі жоғарылайды, бастапқы кернеулер босаңсып, олардың деңгейі төмендейді. Жаңа фазалардың салыстырмалы көлемінің ұлғаюымен немесе азаюымен қатар беткі қабаттағы құрылымдық-фазалық өзгерістер де осылай болуы мүмкін. Кесу жылдамдығының артуына байланысты созылмалы кернеулер белгілі бір процестің салмағы артқан сайын азаюы немесе жоғарылауы мүмкін.

Берілу шамасы кесілген металл қабатының қалыңдығын, металдың беткі қабатының пластикалық деформациясының таралу жылдамдығы мен тереңдігін, демек, бастапқы және қалдық кернеулердің таралу шамасы мен тереңдігін анықтайды. Мысалы, 0,1 мм/айн тісті доңғалақпен өңдеу кезінде бастапқы созылмалы кернеулермен қабаттың қалыңдығы бар болғаны 0,01 мм, ал олардың максималды қосындысы +90 МПа. Жылдамдықтың 0,3 мм/айн артуы кезінде созылмалы бастапқы кернеулердің ену тереңдігі 0,070 мм-ге дейін, ал кернеу деңгейі 400 МПа-ға дейін артады. Жылдамдықты 0,5 мм/р/мин дейін арттыру созылмалы кернеулердің таралу тереңдігін біршама арттырады (0,08 мм-ге дейін), бірақ олардың мәні 140 МПа дейін төмендейді. 1,2 мм/айн беріліс жағдайында созылмалы кернеулер қайтадан төмендейді (120 МПа дейін), бірақ олардың таралу тереңдігі айтарлықтай артады (0,2 мм-ге дейін).

Құралдың кесу бөлігінің материалы өңделетін материалға жабысу қабілетіне байланысты беткі әжімдердің және бастапқы кернеулердің пайда болуына әсер етеді. Құрал материалында вольфрам және титан карбидтері көп болғандықтан, созылмалы бастапқы кернеулердің таралу тереңдігі артады, бұл құралдың және өңделетін материалдың артқы және алдыңғы жиектері арасындағы адгезия процестерінің белсенділігіне байланысты.

Құрылымдық болаттағы көміртегі мөлшерінің жоғарылауымен оның құрылымындағы феррит фазасының мөлшері азаяды, болаттың аққыштық шегі жоғарылайды, кернеудің таралу тереңдігі төмендейді. Мысалы, көміртегі мөлшері 0,08% болатын болатты токарлық өңдеуден кейін бастапқы кернеулер 0,35 ... 0,4 мм тереңдікке дейін созылады және 500 МПа жетеді. Болатты 20 (0,2% С) өндегеннен кейін бастапқы кернеулердің таралуы, олардың 250 МПа кезіндегі максималды мәні бар болғаны 0,08 мм болды. 45-те (0,45% С) бастапқы кернеулердің таралу тереңдігі (0,08 ... 0,12 мм), созылмалы қалдық кернеулердің қосындысы 400 МПа дейін болды.

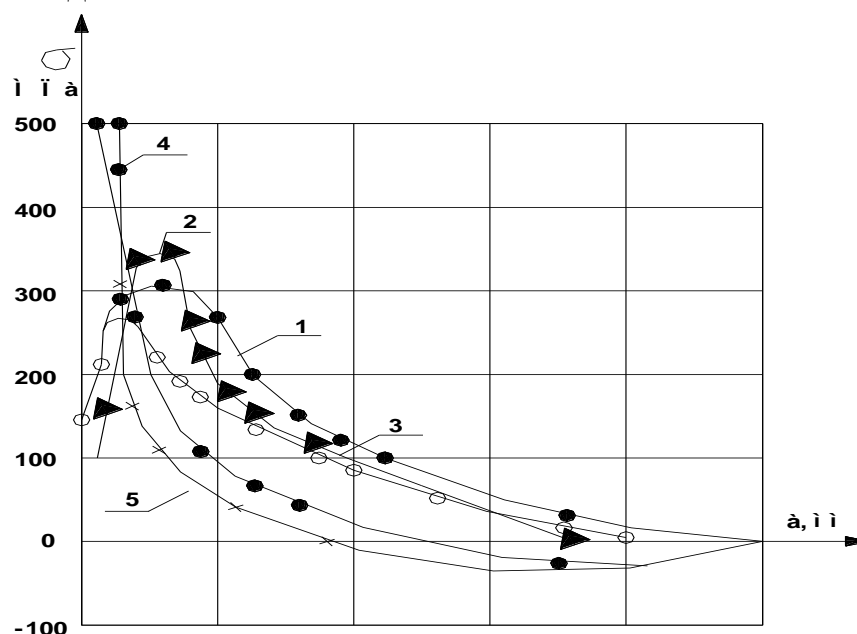
Құралдың алдыңғы және артқы жиектері тозған сайын беттік қатпарлардың пайда болу және бастапқы кернеулердің пайда болу шарттары күрделеніп, өңделген бетке пластикалық деформацияның таралу тереңдігі артады. аспаптың артқы жағында пішіні мен өлшемдері дұрыс емес тозуы пайда болады және бұл фасканың бетінде дөңгелек төбесі бар борттың пайда болуына қолайлы жағдайлар жасалады. Құралдың тозуы созылу кернеулерінің таралу тереңдігі мен шамасына қатты әсер етеді. Мысалы, 45 болаттан жасалған өткір кескішпен өңдеу кезінде кернеуді бөлудің бастапқы тереңдігі 0,06 мм, ал максималды қалдық кернеу 120 МПа. Құралдың артқы жиегінің тозуының 0,3 мм-ге дейін артуы кезінде кернеудің ену тереңдігі 0,09 мм, кернеу деңгейі 220 МПа; тиісінше $h = 0,5$ кезінде бойлық ену тереңдігі 0,12 мм, кернеу мәні 260

МПа; $h = 0,8$ кезінде бойлық ену тереңдігі $0,14$ мм, кернеу мәні 300 МПа. Тереңдігі $0,01$ мм-ге дейін беттік қабатта тозу артқан сайын 20 МПа-ға дейінгі созылу қалдық кернеулері сығылу кернеулеріне ($h = 0,05$ мм жағдайда), $h = 0,3$ мм-де максимум 60 МПа-ға дейін өзгереді. , содан кейін $h = 1,2$ мм кезінде 20 МПа дейін төмендейді. Дайындама беті аспаптың артқы бетімен немесе пышақпен жанасқан жағдайда, беттік қатпарлар температураның шамалы өзгеруіне сезімтал болады. Сондықтан жұқа беттік қабаттағы қалдық кернеулер өте тұрақсыз. [64].

Металлдың құралдың (немесе қалақтың) кесетін бөліктерімен жанасу жағдайларына және беткі қабаттың пластикалық деформациясына оның геометриясы айтарлықтай әсер етеді: тырма бұрышы, кескіштің алдыңғы жиегінің пішіні, кескіштің радиусы, кескіштің жоғарғы бөлігі.

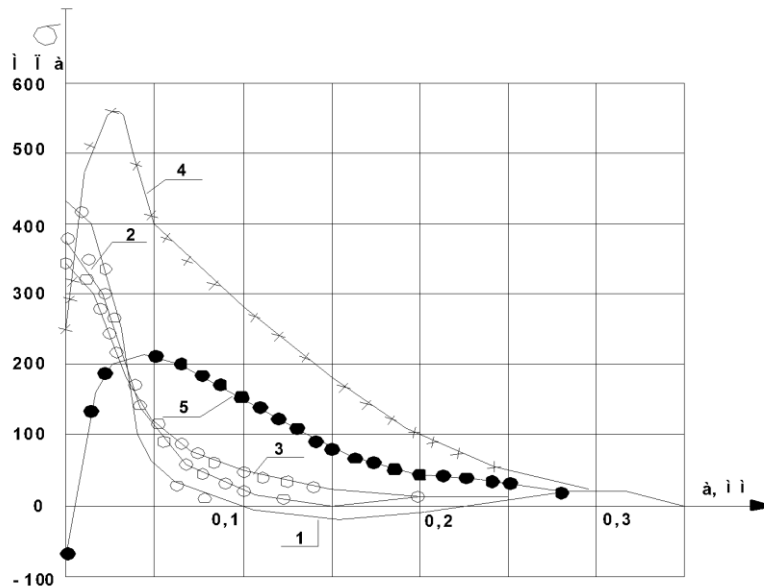
Тырма бұрышының жоғарылауымен кесу күші мен температурасы, бойлық жоңқаның шөгудің коэффициенті, беткі қабаттың пластикалық деформациясы бойымен ену тереңдігі төмендейді. Осының барлығы тік тырма бұрышы бар үлкен өткір кескішпен жұмыс істегенде жұқа беттік қабатта жоғары бастапқы кернеулердің пайда болуына әкеледі, бірақ олар тереңдікте күрт төмендейді (5.3-сурет). Кіші тырма бұрыштары бар кескіштермен жұмыс істегенде, бастапқы кернеулер беткі қабатқа әлдеқайда тереңірек енеді, бірақ олардың максималды деңгейі тырма бұрыштары үлкен кескіштермен жұмыс істегенге карағанда төмен.

Кескіштің ұшы r , ал тісті доңғалақ S болса, онда радиустың өзгеруі беттік қатпардың пайда болу аймағындағы металл деформациясының жағдайларына айтарлықтай әсер етеді.



1- $\gamma = -10^{\circ}$; 2 - $\gamma = 0^{\circ}$; 3 - $\gamma = 10^{\circ}$; 4 - $\gamma = 20^{\circ}$; 5 - $\gamma = 30^{\circ}$

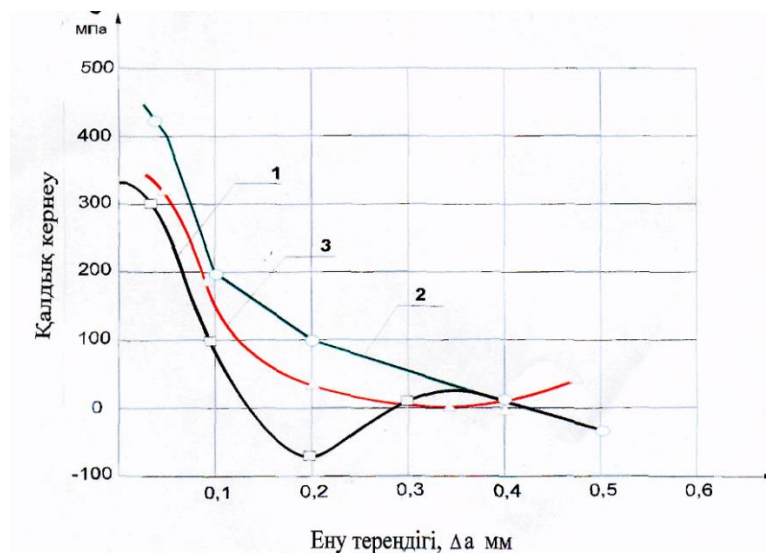
Сурет 3.3 - 20×13 болатын $r = 3$ мм кескішімен ($V = 21$ м/мин; $S = 0,3$ мм/дв; $t = 1,5$ мм; эмульсиямен салқындатылады) режимінде жоңған кезде алдыңғы бұрыштың бастапқы кернеулерге тигізетін ықпалы



1 – $r = 1$ мм, 2 – $r = 2$ мм, 3 – $r = 3$ мм, 4 – $r = 4$ мм (діріл), 5 – $r = 6$ мм,

Сурет 3.4 - 20x13 болатын жону кезінде кескіш төбешігі радиусының (r) бастапқы кернеулерге тигізетін ықпалы

Белгілі бір S/r қатынасында тырма бұрышы бет қыртысының қалыптасуына іс жүзінде ешқандай әсер етпейді, өйткені ол негізінен дөңгелек кесу жиегі арқылы жүзеге асырылады, иілу бұрышы тіпті теріс әсер етуі мүмкін. Кесу жиегінің радиусы ұлғайған сайын бастапқы кернеулер металға тереңірек еніп, олардың жұқа беттік қабаттағы саны азаяды (3.3-сурет). Ал трансмиссия бастапқы кернеулерге көбірек үлес қосады. [65].

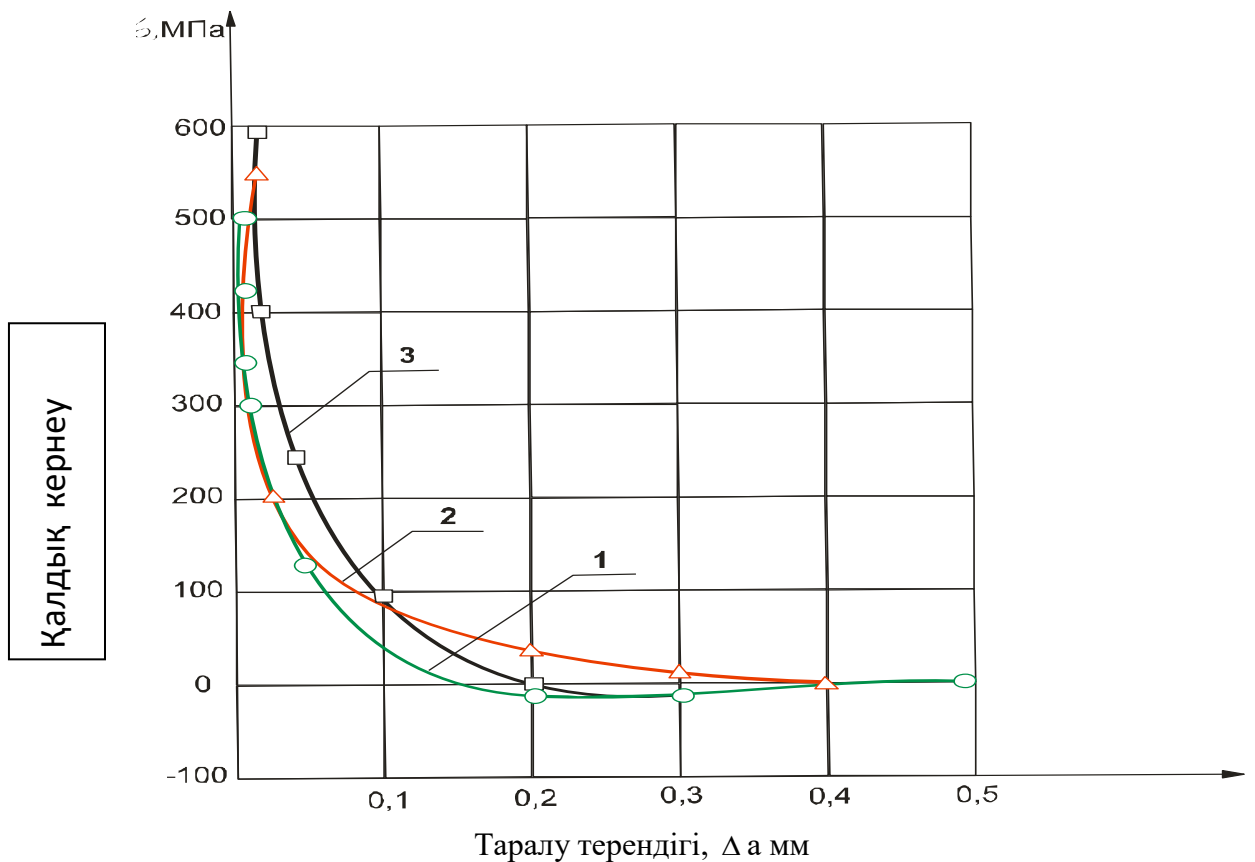


1 – $S = 0,1$; 2 – $S = 0,3$; 3 – $S = 0,6$; 4 – $S = 0,9$; 5 – $S = 1,2$ мм/дв.қадам

Сурет 3.5 - 20x13 болатын жону кезінде берілістің (S мм/дв.қадам) бастапқы кернеулерге тигізетін ықпалы

Кесу жылдамдығының жоғарылауымен жоңқа түзілу аймағы, негізінен оның төменгі шекарасының (пластикалық деформациялардың басталуы) кескіштің алдыңғы жиегіне қарай инверсиясына байланысты тарылады. Пластикалық деформациялар жұқа беттік қабатта локализацияланған, ал бастапқы кернеулердің енуі төмен кесу жылдамдығына қарағанда аз. Бірақ беттік қатпарлардың пластикалық деформациясының дәрежесі жоғарылайды, бұл бастапқы кернеулердің деңгейін арттырады (3.6-сурет). Кесудің жоғары жылдамдықтарында металды қыздыру және кернеуді босаңсыту салдарынан ең жоғары бастапқы кернеулер төмендеуі мүмкін. Бірақ бұл кезде беттік қатпарлар термопластикалық деформацияларға ұшырап, созылу кернеулері пайда болуы мүмкін. Жалпы, бәрі өңделетін материалдың құрылымына және кесу күші мен кесу температурасы сияқты екі фактордың қайсысының көбірек әсер ететініне байланысты. Кесу тереңдігін өзгерту бастапқы кернеулер кезінде графиктің табиғатына үлкен әсер етпейді. 3,5 мм кесу тереңдігіне дейін тегістеуден кейінгі кернеу графигі $t = 1,5$ мм-ге дейін тегістеуден кейін алынған графиктен аз ерекшеленеді.

Бірақ кесу тереңдігі өте аз болған жағдайда бастапқы қысу кернеулері қалыпты тереңдіктегідей созылу кернеулерінен гөрі жұқа беттік қатпарларда пайда болады.

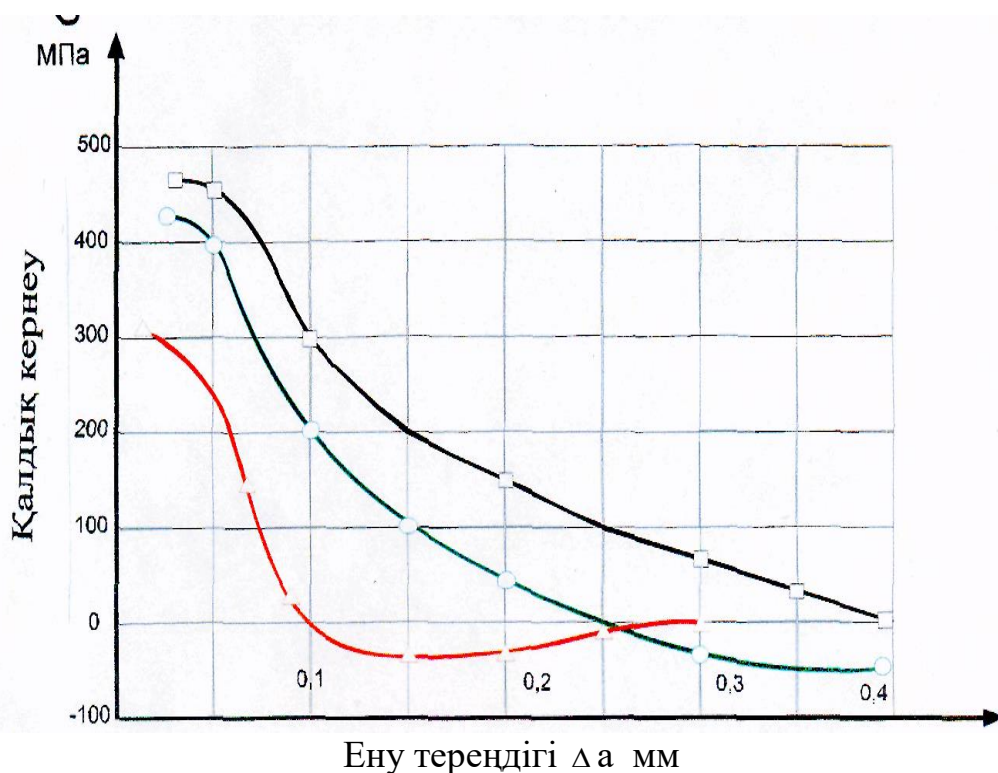


1 – $V = 7,5$; 2 – $V = 11,6$; 3 – $V = 21$; 4 – $V = 30$; 5 – $V = 41$ м/мин.

Сурет 3.6 - 20x13 болатын жону кезінде кесу жылдамдығының (V , м/мин) бастапқы кернеулерге тигізетін ықпалы

Тәжірибе барысында тырма бұрышы үлкен және алдыңғы жиегінде теріс фаска ені 0,2...0,4 мм болатын кескіштер созылмалы бастапқы кернеулердің мөлшерін және олардың біртіндеп ену тереңдігін азайту бойынша жақсы нәтиже көрсетті. Бұл жағдайда фиаско бұрышы 00-ден -100-ге дейінгі аралықта болуы мүмкін. Осындай геометриялық кескіштермен өңдеу беттік қатпарлардағы таяз тереңдікке дейін созылатын салыстырмалы түрде шағын бастапқы кернеулерді жасайды. Берілу жылдамдығы азайған сайын және аспап мұрынының радиусы ұлғайған сайын, созылмалы бастапқы кернеулерді азайту құралы ретінде конусты кескіштің тиімділігі күрт төмендейді. Соңғы бүктемелерді құрайтын радиус аймағында қырылатын қабаттың қалыңдығы фасканың еніне пропорционалды болады, ал фаскалық кескіштер фаскасыз кескіштерге қарағанда артықшылық бермейді.

Кескіштің тозуы бастапқы кернеулерге айтарлықтай әсер етеді. Тозу дамыған сайын бастапқы кернеу графигінің сипаты да өзгере бастайды; ішкі қабат максимумы пайда болады және беттік қатпарларға кернеудің ену тереңдігі артады. Бастапқы тұрақты кернеулердің максималды мөлшері аздап өзгереді (3.7-сурет).



○ - болат 14X17H2 □ - болат 20X ▲ - болат 35XH3M
 1 және 4 - өткір кескіш; 2 және 5 – тозымы 0,6 мм; 3 және 6 – тозымы 1,2 мм

Сурет 3.7 - 20x13 болатынан жасалған үлгілерді жону кезінде кескіш тозымының (h мм) қалдық (1, 2, 3) және бастапқы (4, 5, 6) кернеулерге тигізетін ықпалы

Болат үлгілерін бойлық фрезерлеу кезінде олардың өңделген беті бастапқы кернеулердің әсерінен майысады. Бұл беттік қатпарлардағы созылмалы бастапқы кернеулердің пайда болуын көрсетеді. Үлгі 45° бұрышпен және көлденеңінен бүгілгенде, ол кері иіледі. Бастапқы кернеулердің графиктері әртүрлі бағытта фрезерлеу кезінде үлгілердің қалай деформацияланатынын анық көрсетеді.

Болаттан жасалған үлгілерді көлденең бағытта және 45° бұрышпен өңдеу кезінде жұқа беттік қабаттарда бастапқы қысу кернеулері пайда болады. Кейбір қысу кернеуінің үлгілері иілу сәтіне айтарлықтай әсер етеді, нәтижесінде өңделетін дөңес беттік қабат пайда болады.

Болат сақиналарды горизонталь бағытта 45° бұрышпен өңдеу кезінде жұқа беттік қабатта қысу кернеулері пайда болады, кейін олар созылмалы кернеулерге айналады. Максималды кернеу мәні 250 ... 300 МПа жетеді, ал тереңдеген сайын мән 0,05 ... 0,07 мм дейін төмендейді.

Сығылу бағытында 100...150 МПа иілу. Қысу кернеуінің профильдері өңделген беттің дөңес болуына әкелетін иілу моментін тудыруы мүмкін.

3.5 Өңдеу кезіндегі қалдық кернеулерді технологиялық зерттеу

Көптеген авторлардың зерттеулері беттік қабатта қысу қалдық кернеулері болған кезде бөлшектердің төзімділік шегі жоғарылайтынын, ал созылу қалдық кернеулері болған жағдайда оның төмендейтінін анықтады. Бұл механикалық өңдеу кезінде бөлшектердің беткі қабатында қалдық кернеулердің пайда болу себептері мен шарттарын егжей-тегжейлі зерттеуді және қалдық кернеулердің мөлшерін анықтау әдістемесін әзірлеуді қажет етеді. Соңғы уақытқа дейін жұмыс кезінде оның қасиеттерін арттыру мақсатында беттің сапасын жақсартуға бағытталған зерттеулер бөлшектерді өңдеудің технологиялық процесін жалпылайтын соңғы операцияларда ғана жүзеге асырылатын әдістер мен шарттарды қарастыруға дейін қысқарды. Осылайша, технологиялық процестің алдыңғы операцияларында орын алған факторлардың пайдалану кезінде дайын өнімнің қасиеттеріне әсері ескерілмеді.

Соңғы жылдары пайда болған технологиялық тұқым қуалаушылыққа қатысты жаңа ғылыми бағыт мұндай ұстанымның болашағы жоқтығын көрсетеді. Ғалымдар П.Г.Алексеев, А.М.Дальский, А.А.Маталин, Т.М.Мендібаев, Қ.С.Түндібаев және т.б еңбектерінде машина бөлшектерінің жұмыс беттерін қалыптастыруда технологиялық тұқым қуалаушылықтың болуы көрсетілген.

Бұл жұмыста [66] жоғары дәлдікті машина бөлшектерін технологиялық қамтамасыз етудің негізгі мәселелері технологиялық тұқым қуалаушылық тұрғысынан қарастырылады, бұл бөлшекті дайындау процесін оның соңғы өлшемдерімен байланыстыруға мүмкіндік береді. Дайындамалар мен бөлшектердің конструктивтік формалары, дайындаманың қателіктері мен кеңістіктік ауытқулары, олардың толқындылығы, беткі қабаттың физикалық-механикалық қасиеттері және т.б. Мұндай өлшемдердің өмірде технологиялық тұқым қуалайтыны және өзіндік сандық аспектілері бар екендігі көрсетілген.

[67] жұмысында әртүрлі алдын ала және соңғы өңдеу әдістерімен машина бөлшектерінің сапасының қажетті өлшемдерін технологиялық қамтамасыз ету мәселелеріне, өңдеудің әртүрлі түрлерінің оңтайлы комбинациясын анықтау әдістеріне және қабылдауға үлкен көңіл бөлінеді. технологиялық тұқым қуалаушылықтың әсерін, үстіңгі бетінің сапасы мен сандық тәуелділіктерді ескере отырып, бөлшектердің технологиялық қамтамасыз ету қасиеттерін пайдалану кезінде. Жұмыс [68] әртүрлі материалдардан бөлшектерді өңдеу кезінде оң технологияны пайдалана отырып, алдыңғы операциялардың нәтижелерін жалғастыру мүмкіндігін белгіледі.

Жұмыс кезінде негізгі беттік қасиеттер, яғни оның микро- және макрогеометриясы, микроқаттылығы, кернеулі күйі, беттік энергиясы, бетінің тұтастығы, химиялық құрамы, сыртқы металл қабатының өте нәзік құрылымы және т.б. жұмыстың бүкіл кезеңінде қалыптасады. бөлшектерді өңдеу.

Әрбір технологиялық фактордың дайындаманың соңғы қасиеттеріне әсері бірдей емес.

Олардың кейбіреулерінің әрекеті соңғы операцияға дейін жалғасады, басқаларының әрекеті одан көп бұрын тоқтайды. Басқаша айтқанда, технологиялық тұқым қуалаушылықтың әртүрлі факторларының әсер ету ұзақтығы әртүрлі. Өңделген беттің соңғы қасиеттері бөлшек дайын болғанға дейін барлық операциялар кешенінен қанша теріс факторлардың өтетініне және қанша оң факторлардың оларды басуға немесе бейтараптандыруға байланысты.

Бөлшектің сенімділігі өңделетін беттің сапасының белгілі бір негізгі өлшемімен немесе оның тағайындалуына байланысты өлшемдер тобымен анықталады. Бөлшектің сенімділігіне шешуші үлес қосатын осы өлшемдер болғандықтан, олардың тұқым қуалайтын сипатын ескерген жөн. Технологиялық процестерді жобалау кезінде жағымсыз факторлардың аяқталған операцияларға ауысуын болдырмайтын және оң факторларды күшейтуге жағдай жасайтын операциялар мен кесу шарттарын енгізу қажет.

А.М Дальский атап көрсеткендей: «Жетік қатпарлардың физикалық-механикалық қасиеттерін қалыптастырудағы технологиялық тұқым қуалаушылық механизмі толық анықталған жоқ. Көптеген мәселелер пікірталас тудырады және қосымша зерттеуді қажет етеді.

Сонымен, қалдық кернеулерді технологиялық тұрғыдан зерттеудің заңдылығын және өңдеу кезінде осы процесті басқару мүмкіндігін зерттеу машина жасау технологиясының өзекті міндеті болып табылады.

3.6 Қалдық кернеулерді анықтаудың осы заманғы әдістері

3.6.1 Босату әдісі

А. Бұл тәсілдің негізінде мынадай ой жатыр (3.8-сурет). *A* нүктесіне *l* және *2* бағыттарында екі сымды тензометрді желіммен жабыстырып, олардың көрсеткен мәндерін жазып аламыз. Содан кейін жуандығы *h* тілімді кесіп алып, тензометрдегі мәндерді тағы да жазып қоямыз. Тензометрдің мәндеріндегі өзгешелік тілімшені қиып алғаннан кейін шыққан ε_1 және ε_2 деформациясын есептеуге мүмкіндік туғызады.

Тілімшелерді қиып алғаннан соң ол жерде қалдық кернеулер болмайтыны анық (тілімше қалдық кернеулерден босап, бөлек шығады).

$$\sigma_1 = -\frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \quad (3.7)$$

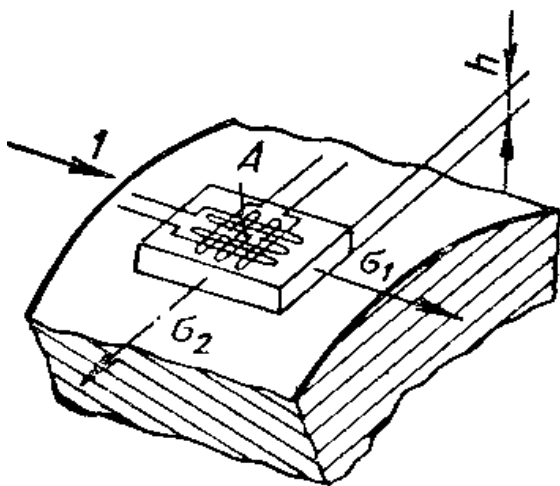
$$\sigma_2 = -\frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1); \quad (3.8)$$

Мына теңдемелердегі σ_1 және σ_2 – керекті бағыттарда әрекет істейтін кәдімгі қалдық кернеулер.

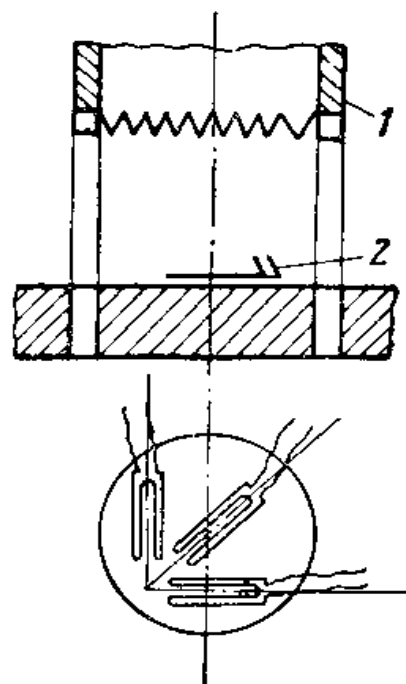
Енді қалдық кернеулерді табудың жалпы ережесіне сүйене отырып, (3.7) және (3.8) теңдемелерін шығарамыз.

Қиып алғаннан соңғы тілімшедегі қалдық кернеулер

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1^* &= \sigma_1 + \sigma_{1\partial} = 0; \\ \sigma_2^* &= \sigma_2 + \sigma_{2\partial} = 0; \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$



Сурет 3.8 - Босату әдісі



1 – түтікті фреза; 2 – сымды тензометр
Сурет 3.9 – Қалдық кернеуді жіңішке қабырғалы бөлшектерде анықтау

σ_1 және σ_2 – қиып алудың қорытындысында туындаған қосымша кернеулер. Біз байқаған бөлшектің деформациялары қосымша кернеулердің іс-әрекетінің нәтижесі болып саналады.

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{E}(\sigma_{1\partial} - \mu\sigma_{2\partial}); \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E}(\sigma_{2\partial} - \mu\sigma_{1\partial}). \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

Соңғы теңдемелерден бұлар пайда болады:

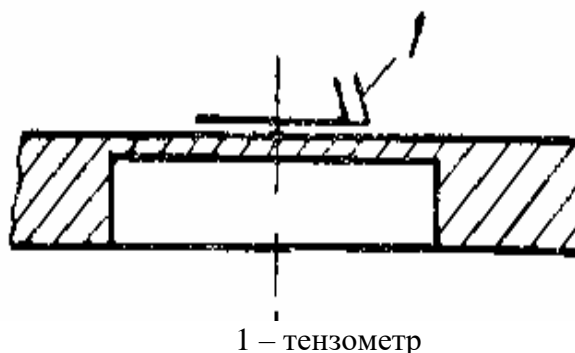
$$\left. \begin{aligned} \sigma_{1\partial} &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \\ \sigma_{2\partial} &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1). \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

(3.9) қатынасты ескере отырып, (3.10) және (3.11) формулаларды шығарамыз.

Б. (3.10) және (3.11) есептік тәуелділіктерді қолдану уақытында σ_1 және σ_2 кернеулері қиып алынған тілімшенің жуандығына қарай қақ бөліне алады.

Тілімшенің жуандығын 0,2-0,3 мм-ден аз етіп жасау шын мәнінде тәжірибеде мүмкін емес болатындықтан, талданып отырған тәсіл бет қатпарларындағы кернеулердің, мәселен, механикалық өңдеудің қалдық кернеулеріне сәйкес болатындай, аяқ асты өзгерген кезде үміттенпі күткен кездегідей нәтиже шығармайды.

Сырты жіңішке бөлшектерде қалдық кернеулердің жуындығына сәйкес қақ бөлінгенін көп жағдайда күтуге болады. Аталмыш жағдайда қалдық кернеулерді анықтауда тензометрлер жабыстырылған тығырықтарды түтікті фрезамен тесу (3.10-сурет) әдісін қолдануға болады. Егер де қалдық кернеулерді барынша жұқа қабатта табу керек болса, олай болса тығырықты қиып алудан алдын шетжақтама жасалуы ықтимал (3.11-сурет).

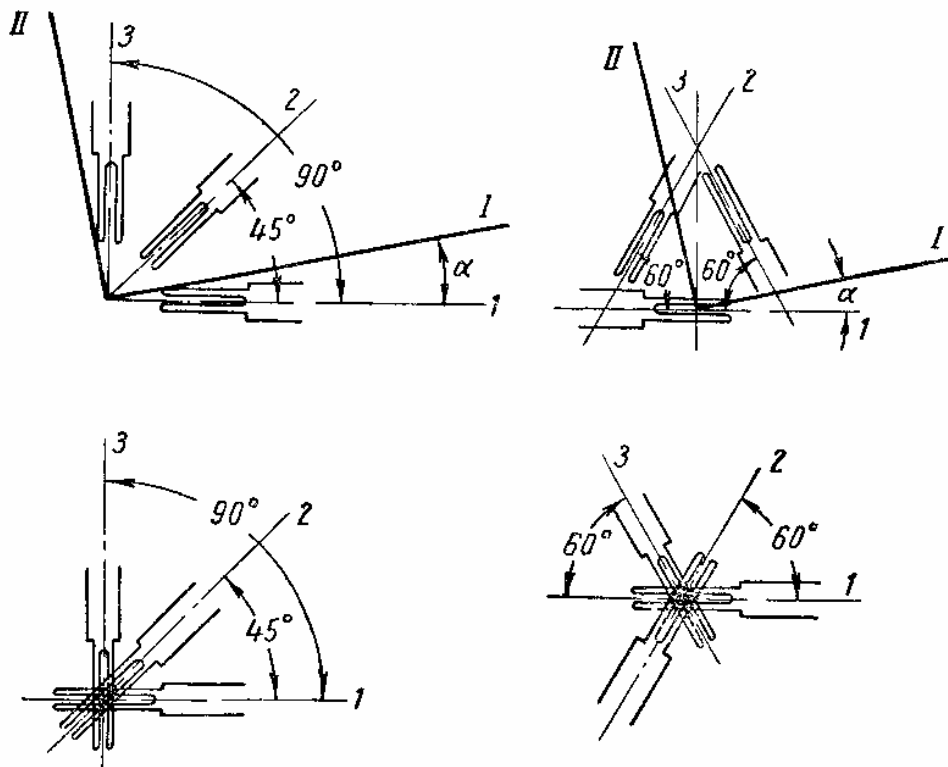


Сурет 3.10 - Алашетжақтау әдісінің көмегімен жұқа қабаттағы қалдық кернеулерді табу

В. (3.10) және (3.11) формулалары екеуара байланысты болатын перпендикуляр бағыттардағы (негізгі болуы міндетті емес) кәдуілгі қалдық кернеулерді айқындайды. Деформацияларды (желілі) үш бағытта өлшеп, есептеп алу негізгі кернеулердің саны мен бағытын белгілеу үшін керек болады. Бұны іске асыру үшін сымды бергіштердің (тензометрлердің)

розеткасы желімнің көмегімен байланыстырылады. 3.11-суретте 45° және 60° бұрыштарды беретіндердің розеткасы бейнеленген. Кей кезде сымды бергіштердің габариті сандық көрсеткішін кішірейту үшін оларды бір-бірінің үстіне желіммен жабыстырады. Мұндай жағдайда барлық розеткаларға (өздері бөлек бергіштерді емес) басқа альтернатива табу керек болады.

Бергіштердің розеткасын қолданған сәтте негізгі қалдық кернеулерді айқындау үшін есептік тәуелділіктерді көрсетеміз [69].



Сурет 3.11 - 45° және 60° бұрышты көрсететіндердің розеткалары

Егер 1, 2 және 3 бағыттарда (сәйкесінше ε_1 , ε_2 және ε_3) тензометр арқылы өлшенген деформацияларға (қиып алудың қорытындысында шыққан) белгі жасайтын болсақ, онда негізгі қалдық кернеулер үшін келесі тәуелділіктерді көруге болады:

45° - розетка

$$\sigma_1 = -\frac{E}{2} \left(\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 - \mu} + \frac{1}{1 + \mu} \sqrt{(2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2} \right); \quad (3.12)$$

$$\sigma_{11} = -\frac{E}{2} \left(\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{1 - \mu} - \frac{1}{1 + \mu} \sqrt{(2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2} \right), \quad (3.13)$$

Егер негізгі кернеулердің саны мен бағыттары анық болса, онда көлбеу алаңдардағы кәдімгі және жанаспалы кернеулерді әдеттегі тәуелділіктер арқылы есептеп шығаруға болады.

Г. Босату әдісінің ең маңызға ие бағыттарының бірі діңгектер әдісі.

Діңгектер әдісі бойынша [70], [71], діңгекті бұрғымен тесіп, шет жағына(бүйір жағына) алдын ала сымды тензометр жабыстырылады. Діңгектің ұзындығы l жететіндей кез болғанда, ұзындығына сәйкес қалдық кернеулер тұрақтылық сақтаса, бет қатпары толығымен босады деп санай беруге де болады. Кей тәжірибе нәтижелері көрсеткендей бұрғылаудың тереңдігі осындай болуы шарт:

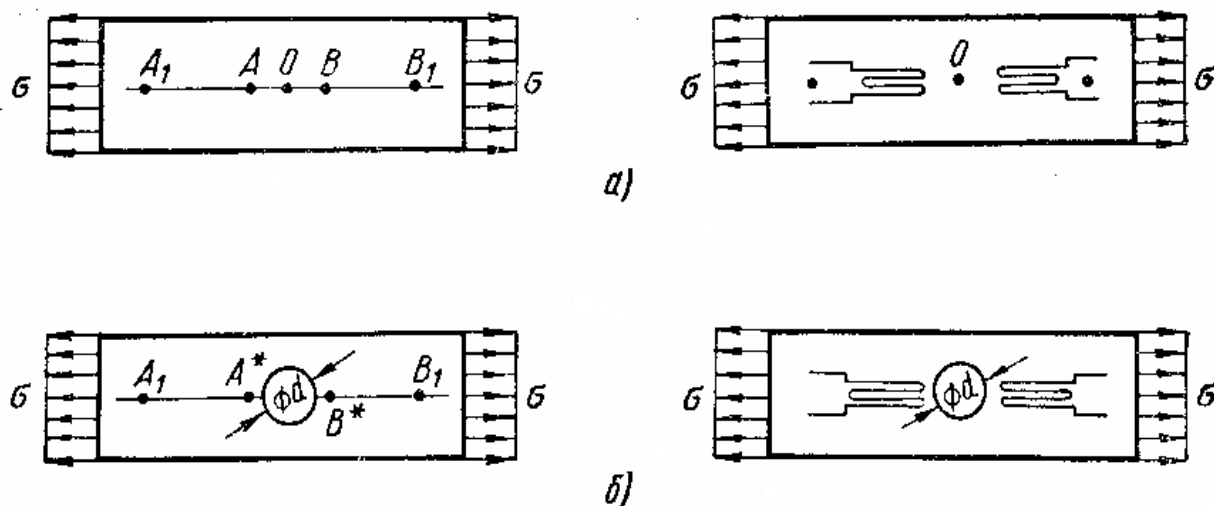
Айтарлықтай үлкен соққылар мен құймалардың қалдық кернеулерін табу үшін діңгектер әдісі қолданылады. Осындай бөлшектерді 15-20 мм тереңдікте болған кезде 10-15 мм диаметрмен бұрғылау механикалық өңдеудегі қарапайым шарттарды сақтай отырып жасалады.

Бұл тәсіл діңгектің ұзындығы бойынша қалдық кернеулердің тез арада өзгеріп кетуі уақытында тиімсіз.

Мұндай жағдайда бұрғылау әрекетінен соң жазып алынған деформация мен бет қатпарындағы кернеулердің саны ортасында нақты бір қатынас болмайды. Осы байланыс цилиндр түзгіштің өне бойындағы кернеулердің өзгерісіне тікелей бағынышты болады. Бұл жағдай діңгектер тәсілін қолданған сәтте біршама шектеу кіргізеді. Діңгекті кесіп алған уақытта қосымша қалдық кернеулердің ішке кіріп кетпеуіне баса назар аударып, бақылаған дұрыс.

3.6.2 Қалдық кернеулерді тесік тесу әдісімен анықтау

А. Тесік тесу идеясын ұсынған Й.Матар болатын (1932 ж.). Бұл әдістің мәні: тесік бұрғылау кезінде осы бұрғыланған жердегі кернеудің шамасына байланысты бөлшекте шағын орын ауыстырулар мен деформациялар пайда болады.



Сурет 3.12

Жолақ σ кернеуімен керілді деп есептейік (3.12-сурет). Диаметрі d тесікті бұрғылап тесетінімізді ескере отырып, тесіктің ернеуінен А және В нүктелерін және одан шамалы қашықтау жерден A_1 және B_1 нүктелерін белгілеп аламыз.

Бұрғылау аяқталғаннан кейін АВ арақашықтығы өзгереді, Гутенбергер түріндегі механикалық тензометрлермен немесе ішек тарту әдісімен AA_1 және

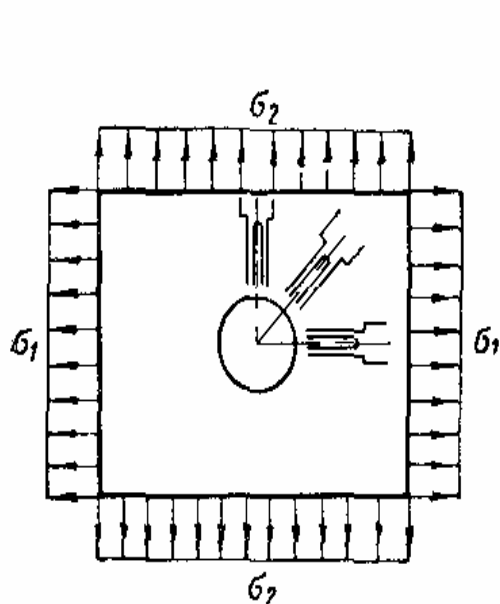
ВВ₁ кесінділерін өлшеу арқылы бұған көз жеткізуге болады. АВ арақашықтығының өзгерісін анықтап алған соң жолақтағы арнаулы баламалаудың көмегімен немесе есептеу жолымен σ кернеуін анықтауға болады [72].

Соңғы кездері орын ауыстыруларды өлшеу әдісін қолданудың орнына деформацияларды сымды тензометрлермен өлшеу әдісі көбірек қолданылып жүр, себебі бұл әдіс барынша ыңғайлы әрі үлкен дәлдікті қамтамасыз етеді.

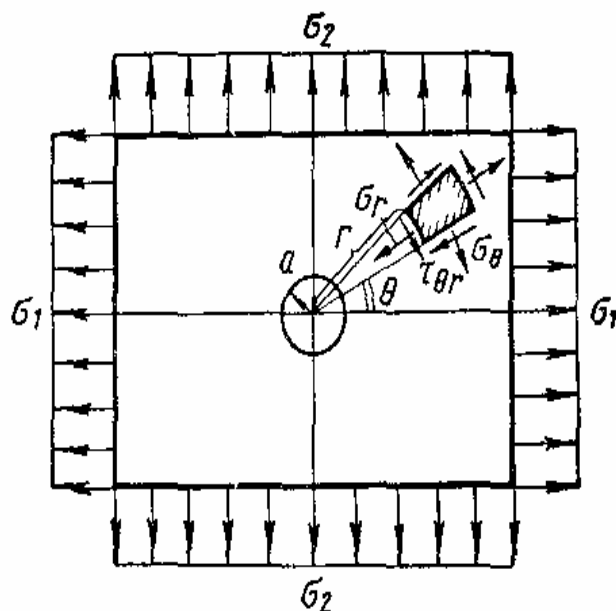
Қалдық кернеудің күйі тегіс болған жағдайдаоны зерттеу үшін ең кемі үш сымды тензометрді пайдалану қажет болады (3.12-сурет).

Б. Тесік тесу теориясы бөлшекте бұрғылаудан кейін пайда болатын деформациялар серпімді болады деген болжамға негізделеді және осы болжамды басшылыққа алады.

Бір шүлдікті кернеулі күй үшін шағын тесіктің айналасындағы кернеудің жинақталу коэффициенті $k = 3$ (ал тең өлшемді екі шүлдікті кеңейту үшін $k = 2$) болатындықтан, қалдық кернеулер ($0,3 \div 0,5$) σ_T -дан көп болмауы тиіс.



Сурет 3.13



Сурет 3.14

Тесік тесу әдісі теориясының негізінде жатқан - белгілі Кирш шешімі[75]. Егер тілімше σ_1 және σ_2 кернеулерімен негізгі екі бағытта керілетін болса (34-сурет), онда радиусы a деп белгіленетін шағын тесік жағдайында тесіктің ортасына дейінгі қашықтығы r болып, ал бұрышы θ болып сипатталатын тілімшенің еркін нүктесіндегі кернеу келесідей теңдіктермен анықталады:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2} \right) \cos 2\theta; \quad (3.14)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta; \quad (3.15)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \left(1 - \frac{3a^4}{r^4} + \frac{2a^2}{r^2} \right) \sin 2\theta. \quad (3.16)$$

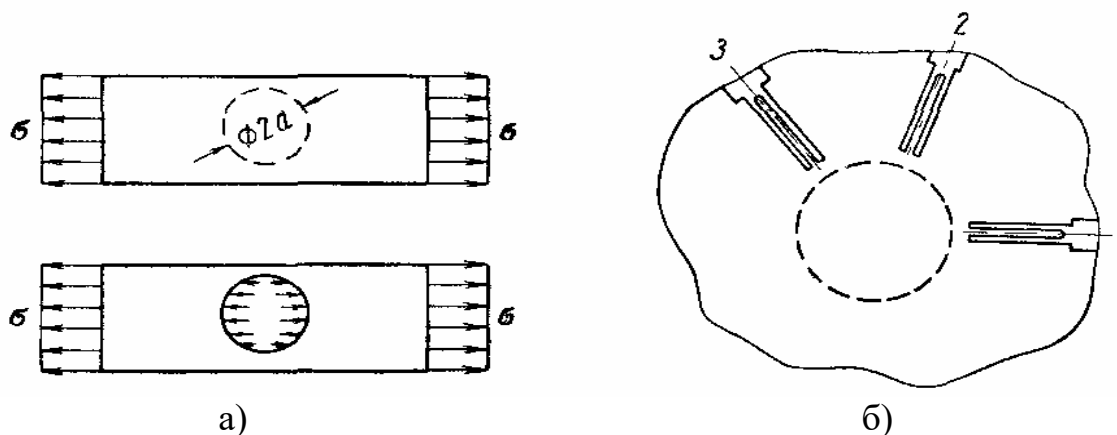
Радиалды деформация

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} (\sigma_r - \mu\sigma_\theta) = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2E} \left[(1 - \mu) - \frac{a^2}{r^2} (1 + \mu) \right] + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2E} \left[\left(1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) (1 + \mu) - \frac{4a^2}{r^2} \right] \cos 2\theta. \quad (3.17)$$

Егер олардағы $\alpha=0$ деп есептейтін болсақ, тесігі жоқ тілімшедегі бастапқы кернеулер (24) – (26) нөмірлерімен көрсетілген формулалармен анықталады. Тесігі жоқ радиалды деформация

$$\varepsilon_r^{(0)} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2E} (1 - \mu) + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2E} (1 + \mu) \cos 2\theta. \quad (3.18)$$

В. Енді негізгі есептік тәуелділіктерді тұжырымдауға көшейік. Қалдық кернеулерді анықтаудың жалпы қағидаларына сәйкес, тесікті бұрғылау және α радиусының цилиндрлік бетін босату (3.14-сурет), кері қалдық кернеулерді осы бетке түйіндестірумен бірдей. Бұл кернеулер мөлшері жағынан бірдей болғанмен, бағытталуы жағынан бұрғылауға дейін цилиндрлі бетте әрекет етіп тұрған кернеулерге қарама-қарсы [73].



Сурет 3.15 – (а) тесіктің үстіңгі бетіндегі табақшалармен бұрғылағанға «тепе-тең» кернеу, (б) –табақшадағы басты кернеулерді радиалдық деформацияны үш бағытта өлшеу жолымен анықтау

Орындалатын міндет - осы кернеулерді бұрғылаудың нәтижесінде пайда болған орын ауыстыруларды немесе деформацияларды өлшеу әдісімен анықтау.

Тесіктің бетіндегі кернеуді анықтап алғаннан кейін, тілімшедегі σ кернеуді анықтауға болады. Дегенмен, қарастырылып отырған осы жағдайда тесігі бар тілімшеге арналған белгілі шешімді қолданып, едәуір қарапайым тәсілді таңдап

алуға болады. Мысалы, тесікті бұрғылауға дейінгі және бұрғылаудан кейінгі ег радиалды деформациясын өлшесек (сымды тензометрді пайдалану арқылы), онда деформация тесігі бар тілімше мен тесігі жоқ тілімшедегі сәйкес деформациялардың айырмасына тең болып шығады.

(3.17) және (3.18) өрнектердің айырмасын құрастыра отырып, келесідей нәтиже аламыз:

$$\varepsilon_r = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2E} (1 + \mu) \frac{a^2}{r^2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2E} \left[(1 + \mu) \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2} \right] \cos 2\theta. \quad (3,19)$$

ег шамасын әртүрлі үш бағытта өлшеп алған соң, тілімшедегі басты кернеулердің (σ_1 және σ_2) мәндерін де есептеуге және олардың бағытын анықтауға болады.

Бірақ тензометрлердің орташа деформацияны ұзыны бойынша өлшейтіні шамалы қиындықтар туғызады.

Тензометрдің бастапқы орналасу радиусын r_1 , ал ақырғы радиусын r_2 деп алатын болсақ, онда орташа деформация формуласы төмендегідей болады:

Формула:
$$\varepsilon_r^* = \frac{1}{r_2 - r_1} \int_{r_1}^{r_2} \varepsilon_r dr. \quad (3,20)$$

Бұдан кейін (29) арақатысынан ε_r мәнін енгізу арқылы мынаны анықтаймыз:

$$\varepsilon_r^* = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2E} A - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2E} B \cos 2\theta, \quad (3,21)$$

Бұл жердегі мөлшерсіз өлшемдер:

$$A = (1 + \mu) \frac{a^2}{r_1 r_2}; \quad (3,22)$$

$$B = \frac{a^2}{r_1 r_2} \left[4 - a^2 (1 + \mu) \left(\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_1 r_2} + \frac{1}{r_2^2} \right) \right]. \quad (3,23)$$

Тензометрлер тесіктің тура ортасынан бірдей қашықта орналасса да, тесікті

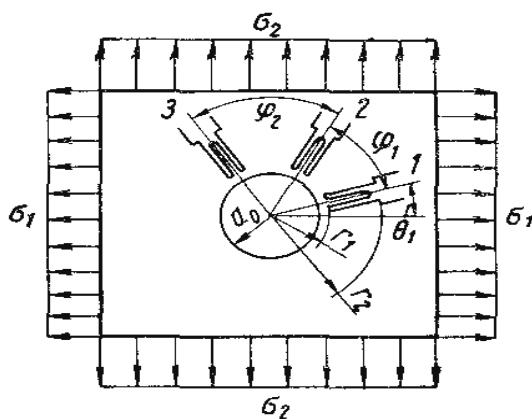
тесу нәтижесінде өлшенген деформациялар ε_{r1} , ε_{r2} және ε_{r3} -ке тең болады.

$$\varepsilon_{r1} = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2E} A - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2E} B \cos 2\theta_1; \quad (3,24)$$

$$\varepsilon_{r2} = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2E} A - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2E} B \cos 2(\theta_1 + \varphi_1); \quad (3,25)$$

$$\varepsilon_{r3} = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2E} A - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2E} B \cos 2(\theta_1 + \varphi_1 + \varphi_2); \quad (3,26)$$

Тензометрлер орташа деформацияны ғана анықтайды, сол себепті теңдік бойынша (3,21) осы теңдеулерде ε_1 , ε_2 және θ_3 шамалары белгісіз болады.



Сурет 3.16- Тесіктер тәсіліндегі есепті байланыстарды шығарудың мысалы

Қарапайым өзгертулердің нәтижесінде (3.26) – (3.28) қатынастарынан аламыз.

$$\operatorname{tg} 2\theta_1 = \frac{\varepsilon_{r3} - \varepsilon_{r2} - (\varepsilon_{r3} - \varepsilon_{r1}) \cos 2\varphi_1 + (\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}) \cos 2(\varphi_1 + \varphi_2)}{(\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}) \sin 2(\varphi_1 + \varphi_2) - (\varepsilon_{r3} - \varepsilon_{r1}) \sin 2\varphi_1}. \quad (3.27)$$

θ_2 бұрышын анықтап алған соң ε_1 және ε_2 басты кернеулерін төмендегі теңдеулер көмегімен анықтауға болады:

$$\sigma_1 = \frac{E}{A} \cdot \frac{\varepsilon_{r1} \cos 2(\theta_1 + \varphi_1) - \varepsilon_{r2} \cos 2\theta_1}{\cos 2\theta_1 - \cos 2(\theta_1 + \varphi_1)} + \frac{E}{B} \cdot \frac{\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}}{\cos 2\theta_1 - \cos 2(\theta_1 + \varphi_1)}; \quad (3.28)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{A} \cdot \frac{\varepsilon_{r1} \cos 2(\theta_1 + \varphi_1) - \varepsilon_{r2} \cos 2\theta_1}{\cos 2\theta_1 - \cos 2(\theta_1 + \varphi_1)} - \frac{E}{B} \cdot \frac{\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}}{\cos 2\theta_1 - \cos 2(\theta_1 + \varphi_1)}. \quad (3.29)$$

Бұл формулаларды шығарған - О.Н.Михайлов[76]. Естеріңізге сала кетсек, (37) – (39) қатынастарындағы:

$\theta_1 - \theta_1$ тілімшесіндегі басты кернеудің бағыты мен бірінші тензометрдің шүлдігі арасындағы бұрыш;

φ және φ_1 - радиалды бағыттарда желімделген тензометрлердің шүлдікті желілері арасындағы бұрыштар;

A және B – (3.22) және (3.23) формулалармен анықталатын мөлшерсіз коэффициенттер;

ε_{r1} , ε_{r2} және ε_{r3} – радиалды бағыттағы деформациялар, ол тесікті бұрғылап тесудің нәтижесінде тензометрлермен өлшенген.

Г. Тесіктің төңірегіндегі кернеулер тек жергілікті сипатта болғандықтан (r көбейген сайын азая береді), тесіктің радиусы $\Delta = r_2 - r_1$ тензометрдің базасына карағанда кіші болмауы тиіс. Әдетте, $A > 1,5 \Delta$ мәндері жеткілікті деп есептеледі. Өлшемдердің дәлдігін арттыру мақсатында 5-6 бергішті пайдаланып, үш бергіштің кез келгенімен есептеуді жүзеге асыруға болады.

Жүргізілген біршама тәжірибелер көрсетіп отырғандай, тұтас ірі бөлшектердегі (үлкен турбомашиналардың роторлары, прокаттық пішімбіліктер және т.б. түріндегі) қалдық кернеулерді анықтау үшін де тесік

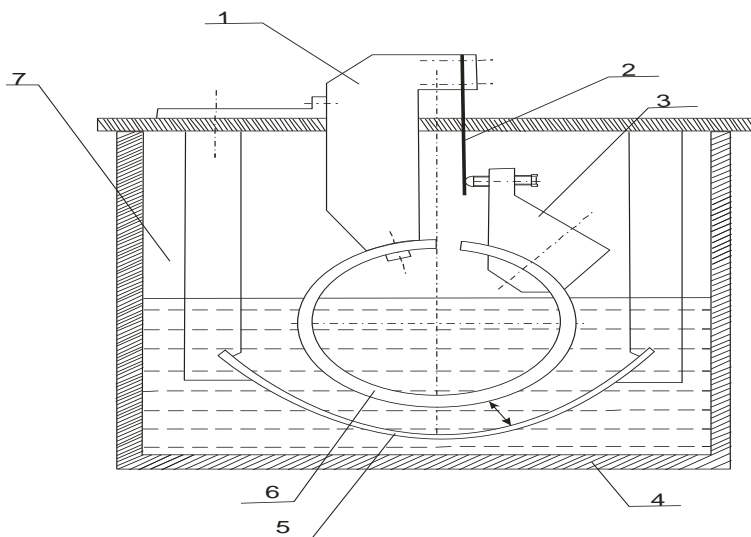
тесу әдісін қолдануға болады. Ол үшін тереңдігі $(1,5 \div 2) d$ болатын тесік тесу жеткілікті, себебі кернеулер бөлшектің қалыңдығы бойынша жайлап өзгергенде мұның өзі бет қатпарының еркін деформациялануын қамтамасыз етеді [74].

Тесік тесу әдісін қолданған кезде қосымша қалдық кернеулердің әсері байқалады, ол тесікті бұрғылау кезінде қалыптасады [75]. Соғып ұзартылған тілімшелермен тәжірибе жасаған уақытта сәйкесінше түзетулер енгізілуге болады.

Д. Сымды тензометрлерді пайдаланған кездегі тесік тесу әдісін жоғарыда қарастырған болатынбыз. Тесік тесу әдісі сонау 30-жылдарда ұсынылған еді, алайда ол кезде сымды тензометрлер әлі көпшілікке белгісіз болғандықтан, зерттеу үшін орын ауыстыруларды өлшеу әдісі қолданылған еді (Гутенбергердің тензометрлерімен немесе ішекті әдіспен). Д.Г.Курносков пен М.В.Якутовичтің жұмысында орын ауыстыруларды өлшеу кезінде шығарылған тәуелділік есептеулері бар [76]. Дегенмен, қазіргі уақытта тензометрлік әдісті қолдану әлдеқайда ыңғайлы.

3.7 Технологиялық қалдық кернеуді зерттеуге арналған ТҚК–3А қондырғысы

Сипаттамасы: Бұл құрастырма мынадай бөліктерден тұрады: электролит құйылған ванна (4), катод-үлгіні (6) бекітуге қажетті тіреуіш (1), анод-сақинаны (5) бекітуге қажетті тіреуіш (7), тіреуішке (1) бекітілетін тензометрлік иілмелі арқалық (2) тұрады. Катод-үлгінің деформациясы ішіне микрометрлік бұранда (8) бұралған таяныш (3) көмегімен беріледі. [77].

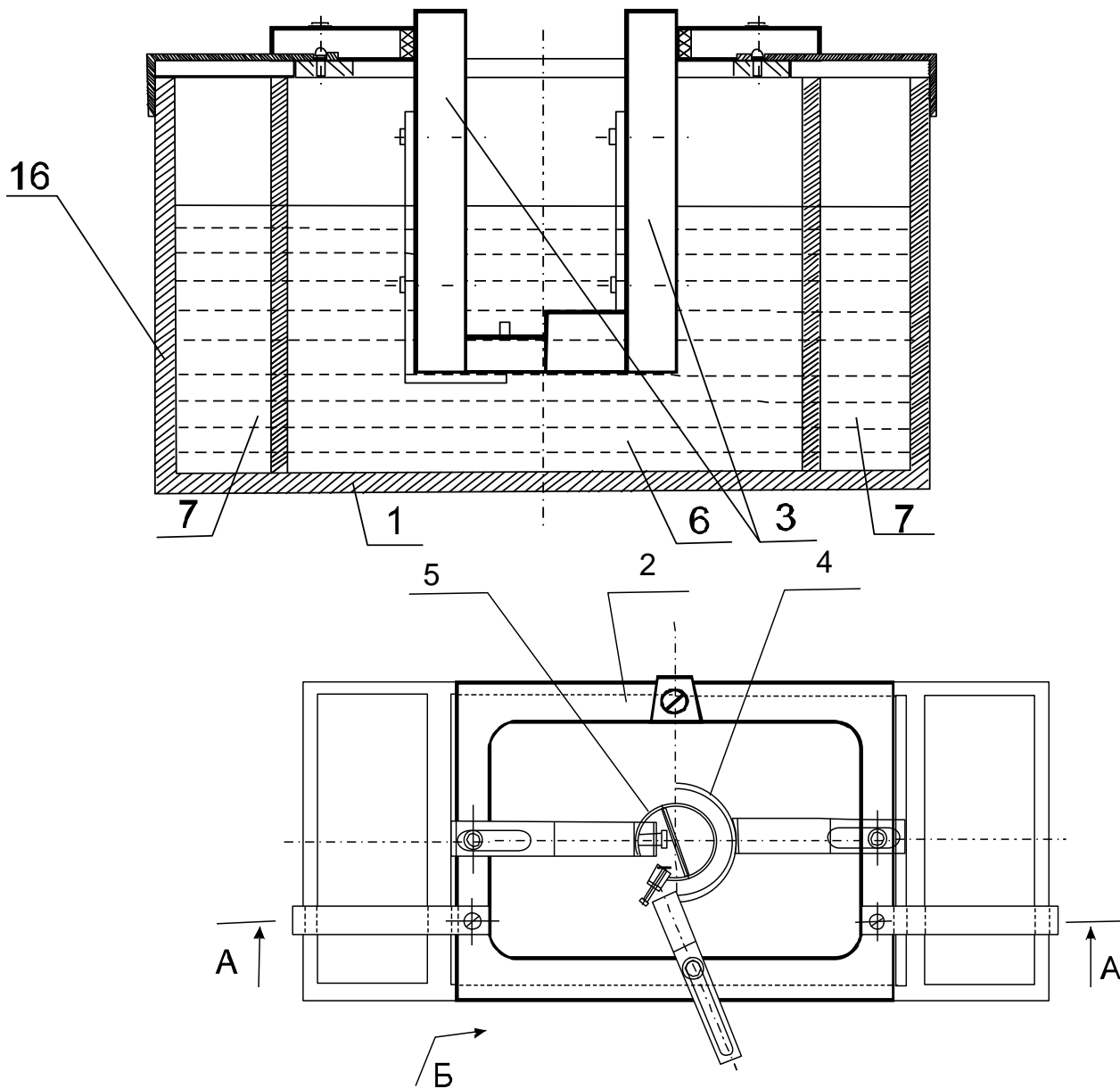


1 – тіреуіш; 2 – иілгіш тензометриялық арқалық; 3 – таяныш; 4 – электролит құйылған ванна; 5 – анод-сақина; 6 – катод-үлгі; 7 – анодтың тіреуіші

Сурет 3.17 - Деформациялық байланыстарды зерттеуге арналған қондырғы

Жұмыс істеу тәртібі: Катод-үлгінің сыртқы үстіңгі бетінен кернеулі қабатты электролитпен сылу кезінде оның кернеулігіне сай тілінген сақина иіле бастайды. Пайда болған иілім тензометриялық арқалықтың (2) көмегімен

үздіксіз тіркеліп тұрады, оған ЭПП-09М1 патенциометрінің аспалы сызбасының кірме иығы ретінде екі бергіш желімделген. Бұл қондырғыларда РПР-1,4 роликті жанаспасы бар сырғақ реостат, ВСА-6Н түзеткісі, тензометриялық күшейткіш, миллиамперметрлері бар аспаптық қалқан секілді қызмет істейтін шығыршықтар пайдаланылған.



1- электролит құйылған көп секциялы ванна; 2 – қондырғының қақпағы; 3 – анодтың және катодтың ұстағыштары; 4 – анод-сақина; 5 – катод-үлгі; 6 – электролит; 7 - салқындатқыш сұйықтық (су); 8 – реттегіш ойықтар; 9 – микрометрлік бұранда; 10 – таяныш; 11 – микрометрлік бастиек; 12 – иілгіш тензометрлі арқалық; 13 – микрометрлік бастиек ұстағышының тіреуіші; 14 – тензометрлі арқалықтың ұстағышы; 15 – кергіш қондырғы; 16 – айырғылар.

Сурет 3.18- ТКҚ – 3А қондырғысының жаңа құрылымы

Кесте 3.1 - Қалдық кернеудің өлшемдерін анықтау бойынша тәжірибе жүргізу технологиясы

№	Операцияның атауы	Жабдық, аспаптар, материалдар
1	Үлгілерді реттелетін режимдерде өңдеу	ФТ-11 станогы, Т15К6 кескіші, арнаулы қондырғы
2	Балдақты тілімдеп кесу	Электррозрозиялық станок
3	Ысқылау, майын сүртіп, кептіру	Спирт, ауа
4	Ерітіндімен өңделмейтін беттерін оқшаулау	БФ желімі, жаққыш
5	Кептіру	Ауа
6	Ерітіндімен өңдеу үшін бетінің майын сүртіп алу	Спирт
7	Электрлі ерітіндімен өңдеу	Арнайы қондырғы
8	Ерітіндімен өңделген қабаттың тереңдігін өлшеу	микрометр

Үшінші тарау бойынша қорытынды

Көптеген зерттеулер дәлелдегендей, әртүрлі механикалық өңдеулерден соң бөлшектердің бет қатпарларында қалдық кернеулер пайда болады..

Бөлшектердің беткі қатпарларында тиісті шақтаманы ұстап тұрып, өңдеу сапасының қажетті өлшемдерін жасау - шешімі айтарлықтай технологиялық қиындықтарды жеңумен байланысты міндет екендігіне бөлшектердің өңделген беткі қатпарларының дәлдігі мен сапасын қамтамасыз ету жөніндегі жұмыстарға талдау жасау барысында көз жеткізуге. Жұмыс сызбаларын әзірлеу сәтінде оған қойылатын қажетті технологиялық талаптарды қамтамасыз етумен шектелмей, оларды ұзақ уақыт сақтай білу - аса маңызды міндет. Сондықтан да технологиялық үдеріс осы бір маңызды шартты қамтамасыз ететін болуы тиіс.

Білік бөлшектердің пішімінің сенімділігі мен мөлшерлерінің беріктігі мәселелерін қарастыру нәтижесінде келесідей тұжырымдар жасауға болады:

- бөлшектердің пішімі мен мөлшерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету проблемасы шақтама шегінде;

- бұйымдарды пайдалану кезінде өңделген бөлшектердің қалдық кернеулерінің олардың дәлдігі мен сапасын сақтап қалуға қалай және қаншалықты ықпал ететінінің заңдылықтарына қатысты теориялық және тәжірибелік зерттеулер жоқтың қасы;

- бөлшектің бет қатпарларында қалдық кернеулердің қалыптасуы механикалық өңдеудің технологиялық факторларына ықпал ету дәрежесі КМС-тарда емес, біршама оқшау операцияларда ғана зерттелген;

- қалдық кернеулердің технологиялық мұралығының механизмі әлі күнге дейін толық көлемде ашылып, зерттелмеген;

- қалдық кернеулердің бөлшектің беткі қабатының сапасы мен өңдеудің дәлдігіне тигізетін ықпалына теориялық және тәжірибелік сипаттағы зерттеулер жүргізу;

- операцияларды оқшау жүргізген жағдайда, жекелеген механикалық өңдеу операциялары кезінде бөлшектің бет қатпарында қалдық кернеулердің бөліну сипатын тәжірибе жолымен анықтау және олардың мөлшеріне ықпал ететін технологиялық факторларды айқындап ашу;

- механикалық өңдеу операциялары бойынша қалдық кернеулердің өзгерісін тәжірибе арқылы зерттеу және қалдық кернеулердің технологиялық мұрагерлігінің дәрежесіне барынша көп ықпал ететін технологиялық факторларды анықтау;

- бұйымдардың беткі қатпарларында қалдық кернеулердің қолайлы эпюраларын қалыптастыру бойынша ұсынбалар әзірлеу.

4 МЕХАНИКАЛЫҚ ӨНДЕУДЕН КЕЙІН ҚАЛДЫҚ КЕРНЕУЛЕРДІҢ ДЕҢГЕЙІН ТӨМЕНДЕТУГЕ ЖӘНЕ ҚАЙТА БӨЛУГЕ БАҒЫТТАЛҒАН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТӘСІЛДЕР

4.1 Қалдық кернеулерді алып тастайтын және қайта бөлетін тиімді технологиялық әдістер

Металл бұйымдарындағы қалдық кернеулер пайдалану қасиеттеріне теріс әсер етуі мүмкін болғандықтан, олардың төмендеуі немесе көлемде қайта бөліну проблемасы әрдайым өзекті болып қалады және технологтарды пластикалық және термиялық өңдеу режимдерін өзгертуге немесе дайын өнімдерді өңдеудің қосымша операцияларын енгізуге мәжбүр етеді [78].

Ең алдымен, металл өнімдерінің түпкілікті қасиеттерін болжау кезінде кернеулі металл көлеміндегі сусымалы процестер нәтижесінде қалдық кернеулердің релаксация құбылыстарын ескеру қажет. Релаксация кезінде қалдық кернеулердің біртіндеп қайта бөлінуіне байланысты, егер де оларды азайту немесе осы кернеулерді оңтайлы түрде қайта бөлудің алдын ала шаралары қабылданбаса, сақтау кезінде де, іске пайдалану кезінде де металл өнімдерінің өздігінен өзгеруі және бұзылуы пайда болады. Кернеулердің релаксация (азаю) жылдамдығы олардың бастапқы деңгейіне және кернеу күйінің схемасына байланысты. Олар неғұрлым жоғары болса, релаксация соғұрлым тез өтеді. Өнім көлемінің әртүрлі бөліктерінде қалдық кернеулердің мөлшері әртүрлі болғандықтан, олардың релаксация жылдамдығы біркелкі болмауына байланысты, тіпті бөлме температурасында да ішкі күштер мен моменттердің бастапқы тепе-теңдігі бұзылады, нәтижесінде жаңа тепе-теңдік күйі орнатылады. Бастапқы кернеу күйінің біркелкі болмауы кернеулердің релаксациясы кезінде өнімнің қисаюын тудырады, қалдық кернеулердің біркелкі болмауы жоғары болған сайын, оның шамасы да неғұрлым жоғары болады. [79,80].

Қалдық кернеулерді алып тастайтын және қайта бөлетін тиімді технологиялық әдістерге мыналар жатады:

- термиялық өңдеу;
- термомеханикалық өңдеу және металл бұйымдарын регламенттелген мәжбүрлі немесе деформациялық қыздырумен пластикалық деформацияның барлық нұсқалары;
- жазықтық немесе термиялық өңделген бұйымдарға механикалық көлемдік және беттік әсер ету;
- металды қысыммен өңдеудің технологиялық параметрлерін ұтымды таңдау.

4.2 Қалдық кернеулерді төмендетудің термиялық әдістері

Күйдіру және босату кезіндегі қалдық кернеулер екі жолмен азаяды: бұл кернеулер металдың деформация кедергісінен асатын жағдайларда, пластикалық деформацияға байланысты немесе кернеулер аққыштық шегінен аз болатын аққыштық нәтижесінде. Қалдық кернеулер әрдайым серпімді, серпімділік модуліне және серпімді деформация мөлшеріне пропорционал

болады. Қыздыру кезінде серпімділік модулі, сәйкесінше қалдық кернеулер де кернеулер температура жоғарылаған сайын төмендейтін деформацияға төзімділік деңгейіне жеткенше аздап өзгереді. Белгілі бір температурадан жоғары аққыштық шегі қалдық кернеулерден төмен болады, пластикалық деформация дамиды, нәтижесінде қалдық кернеулер аққыштық шегіне дейін төмендейді. Нақты деформацияланған қатты денелердегі қалдық кернеулер қыздыру кезінде қандай шектеулерге дейін төмендеуі мүмкіндігін деформацияланған күйдің және қалдық кернеулер өрісінің айтарлықтай біркелкісіздігіне байланысты анықтау өте қиын. Жұмыстың авторы [18, б 126] дененің қалдық кернеулерге түсу дәрежесі оның ұзақтығына емес, күйдіру (босату) температурасына байланысты деп санайды.

Қалдық кернеулер аққыштық шегінен аз болатын өнімдерде серпімді деформация уақыт өте келе пластикалық деформацияға айналуы мүмкін. Бұл жағдайда аққыштық оларды азайтудың жалғыз мүмкін механизмі болып табылады. Баяу пластикалық ағын қозғалуы оңай дислокациялардың шектеулі санын жылжыту арқылы жүзеге асырылады. Олардың дислокациялық кедергілердегі сарқылуы аққыштықтың әлсіреуіне әкеледі, ал қалдық кернеулердің төмендеуі бұл әлсіреуді одан әрі күшейтеді. Термиялық өңдеу ұзақтығының артқан сайын сырғуға онша қолайлы емес орналасқан дислокациялар тартылады [81,82].

Осылайша, егер сіз өнімді кірістілік шегі қалдық кернеулерден аз болатын температураға дейін қыздырсаңыз, онда алдымен массаның көбеюі мен дислокацияның сырғып кетуіне байланысты кернеулердің жылдам разряды пайда болады, содан кейін бұл пластикалық деформация механизмі серпіліспен ауыстырылады, нәтижесінде кернеулердің релаксациясы кезінде біртіндеп және әлсірейді.

Денені жоғары температурада қалдық кернеулер арқылы тез түсіру қауіпті болуы мүмкін, өйткені көлемде кернеу күйінің біркелкі болмауына байланысты түсіру көбінесе ішкі күштер мен моменттердің тепе-теңдігінің бұзылуына әкеледі, бұл қисаюмен бірге жүреді. Баяу пластикалық деформация серпімді деформацияны бір уақытта және тең мөлшерде азайта отырып, осылайша күйдіруді (босатуды) жүргізу ұтымды. Бұл жағдайда күштердің әсер ету бағытындағы сызықтық өлшемдер өзгермейді. Бастапқы кернеулердің деңгейі неғұрлым жоғары болса, бірінші кезеңде олардың разряды соғұрлым тез болады және иілу қаупі соғұрлым жоғары болады. Термиялық өңдеудің ұзақтығына келетін болсақ, әрбір нақты өнімдегі белгілі бір температура қалдық кернеулердің соңғы деңгейіне сәйкес келетінін атап өткен жөн, оған қол жеткізгеннен кейін күйдіру (босату) ұзақтығын арттыру іс жүзінде пайдасыз [83].

Іс жүзінде қалдық кернеулердің деңгейі мен қайта бөлінуін төмендету термиялық өңдеудің әртүрлі операцияларымен бірге жүретін жанама құбылыс болып табылады. Қалдық кернеулерді босату негізгі құрылымдық және фазалық өзгерістермен бір уақытта жүреді. Мысалы, болатты көптеп босатқанда мартенситті сорбитолға айналдырудың негізгі процесімен қатар сөндіру кернеулері төмендейді. Суық және жылы деформация кезінде пайда

болатын қалдық кернеулер қайта кристалдану кезінде азаяды, оның негізгі мақсаты тойтарманы алып тастау болып табылады. Күйдіруді қолдану қыздыру кезінде кернеуді азайту үшін қажетсіз құрылымдық және фазалық өзгерістермен шектеледі. Мысалы, термиялық күшейтілген алюминий қорытпаларынан жасалған бұйымдардағы сөндіру кернеулерін толығымен алып тастау үшін оларды шамамен 230...260⁰ С температураға дейін қыздыру керек. Бірақ мұндай температурада алюминий қорытпаларында беріктіктің төмендеуімен бірге металдың ескіруі жүреді. Суық қысыммен өңдеуден кейін қалдық макрокернеулерді толығымен алып тастау үшін қайта кристалдану жүретін температурада күйдіру ұсынылады. Бірақ бұл ретте қатаю суық қысыммен өңдеуден алынады, бұл көптеген жағдайларда қолайсыз. Сондықтан сіз төмен температурада қалдық кернеулерді жеткілікті түрде алып тастауға келісуіңіз керек немесе механикалық және басқа қасиеттердің нашарлауымен кернеулерді толығымен алып тастауға қол жеткізіп, компромисске келуіңіз керек. Жаңа ішкі жылу кернеулері пайда болмас үшін жылыту және салқындату жылдамдығы аз болуы керек [84].

Қалдық кернеулерді азайту үшін күйдіруді техникада кеңінен қолданылады. Ол зиянды қалдық созылу кернеулерін азайтады, әсіресе көлемді кернеу жағдайында қауіпті, рұқсат етілген сыртқы жүктемелерді арттыруға мүмкіндік береді, шаршау мен соққы жүктемелеріне төзімділікті арттырады, сынғыш бұзылуға, кристалларалық коррозияға және коррозиялық шаршауға бейімділікті төмендетеді, өлшемдерді тұрақтандырады және өнімдердің азаюына жол бермейді.

Қалдық кернеулер деңгейін төмендету үшін термиялық өңдеу қолданылады [5, б66]. Авторлардың пікірінше, көптеген металдар мен қорытпалар үшін қалдық кернеулер 600⁰С-қа дейін қыздыру температурасында жойылады. Алайда, қалдық кернеулерді толығымен алып тастау тек қайта кристалдану температурасында болады. Термиялық өңдеу режимдері қорытпаның маркасына және қажетті нәтижеге байланысты әртүрлі болады. Күйдіру, қалыпқа келтіру, босату арқылы қатайту, кейіннен босату арқылы қатайту және қалыпқа келтіру немесе күрделі температуралық режимде күйдіру қолданылады. Қалдық кернеулерді азайту немесе қайта бөлу мақсатында термиялық өңдеу режимдерін таңдағанда, термиялық өңдеудегі кезкелген әдісі суық немесе жылы пластикалық өңдеу аяқталғаннан кейін бастапқы кернеуден басқа кернеуді бөлудің жаңа схемасымен сипатталатынын ескеру қажет. Қалдық кернеулердің жаңа таралуы металл бұйымдарының пайдалану қасиеттеріне жағымды әсер етуі мүмкін. Алайда, керісінше әсер де болуы мүмкін, бұл металдың жалпы босап кетуіне немесе олардың деңгейі төмендеген кезде де өнімнің бетіндегі қалдық кернеулер белгісінің өзгеруіне байланысты. Кітап авторы [7, б136-143] қатты қыздырудан кейін қалдық кернеулердің пайда болуының маңызды ерекшелігін атап өтеді. Қыздыру процесінде материалдың аққыштық шегінен асатын температуралық қысу кернеулері жасалады. Нәтижесінде материалда қалдық пластикалық қысу деформациясы пайда болады. Салқындағаннан кейін (жылу түсірілгеннен кейін) дененің өлшемдері бұрынғыға оралады, бірақ қысудың қалдық деформациясының болуы созылу

қалдық кернеулерінің құбылысын тудырады. Көптеген жағдайларда температурамен ғана емес, сонымен қатар процестің басқа параметрлерімен, мысалы, уақытпен анықталатын фазалық және құрылымдық өзгерістерге байланысты материалдың нақты көлемдік өзгерістерін ескеру қажет.

Нақты қыздыру және салқындату процестерін есептеу кезінде температура мен температура кернеулерінің таралуы уақыт бойынша айтарлықтай өзгертінін есте ұстаған жөн [85].

Кейбір жағдайларда технологиялық процесс қолайлы қалдық кернеулерді жасау үшін арнайы термиялық өндеуді қамтиды. Әдетте, ол төмен температураға дейін қыздырудан тұрады ($300...600^{\circ}\text{C}$), содан кейін тез салқындатылады. Салқындату процесінде беттік қабаттарда созылудың пластикалық деформациясы пайда болады және температура өрісі тегістелгеннен кейін қалдық қысу кернеулері пайда болады. Беттік қалдық кернеулерді қысу жоғары жиілікті токтармен қатайтылған кезде пайда болады.

Жылу тартудан кейінгі болат сымның салқындату режимдерінің қалдық кернеулердің шамасына әсері термосерпімділік міндеттерін шешу арқылы теориялық тұрғыдан зерттелді [86]. Бастапқы температурасы 320°C болатын диаметрі 5 мм 80 болаттан сүйреу жағдайы үшін есептеулер жүргізілді. Сымды орау алдында мәжбүрлі салқындатудың қалдық кернеулерінің деңгейіне әсері зерттелді. Мәжбүрлі салқындату сым бетіндегі бойлық және тангенциалды қалдық кернеулерді сәйкесінше 1360-тан 1220 МПа-ға дейін және 1230-дан 1020 МПа-ға дейін төмендетуге мүмкіндік берді. Төмендеу шамалы және шамамен 10...20% құрайды. Бұл негізінен сымның төмен температурасына және ажетті пластикалық деформацияны жүзеге асыруды қиындататын тиісінше икемділіктің жоғары шегіне, сонымен қатар салқындату аймағының қысқа ұзындығына байланысты. Осыған байланысты, салқындату алдында 600°C дейін алдын ала қыздырылған нұсқа есептелді. Сым біркелкі салқындату аймағының алдында индуктормен қызады деп есептелді. Алдын ала қыздыруды қолдану сым бетіндегі бойлық қалдық кернеулерді 730 МПа-ға дейін, ал тангенциалды кернеулерді 620 МПа-ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді, яғни кернеулердің төмендеуі 40...50% құрайды.

Патенттелген көміртекті сымды босатудың қалдық кернеулердің шамасы мен таралуына әсері [87] жұмыста егжей-тегжейлі қарастырылған. Төмендетілген температурасының ғана емес, сонымен қатар сүйреу кезіндегі жеке және жиынтықты қысулардың, сондай-ақ патенттеу режимдерінің әсері зерттелді. Жеке қысу осьтік кернеулердің таралу сипатына және олардың абсолютті мәніне айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Сымдағы қалдық кернеулер қабаттасу әдісімен анықталды және Хейн формуласы бойынша есептелді. Салыстырмалы түрде аз жеке қысу кезінде (шамамен 0,15) сымның бетінде созылу кернеулері пайда болады, бұл орташа қысудан көп (шамамен 0,20). Алайда, 0,30-дан астам салыстырмалы қысу кезінде бетінде қысу кернеулері пайда болады және кернеулердің көлденең қимасы бойынша таралу сипаты түбегейлі өзгереді. Бұл У9А, 45 және 10 болат сымдарын тарту кезінде байқалды.

Осьтік кернеулердің шамасына патенттеу кезінде изотермиялық үзіндісіне арналған ваннаның температурасы әсер етеді. Ваннаның температурасы төмендеген кезде, патенттелген және суық тартылған сымның беріктігі артады, осьтік кернеулер жоғарылайды. [88].

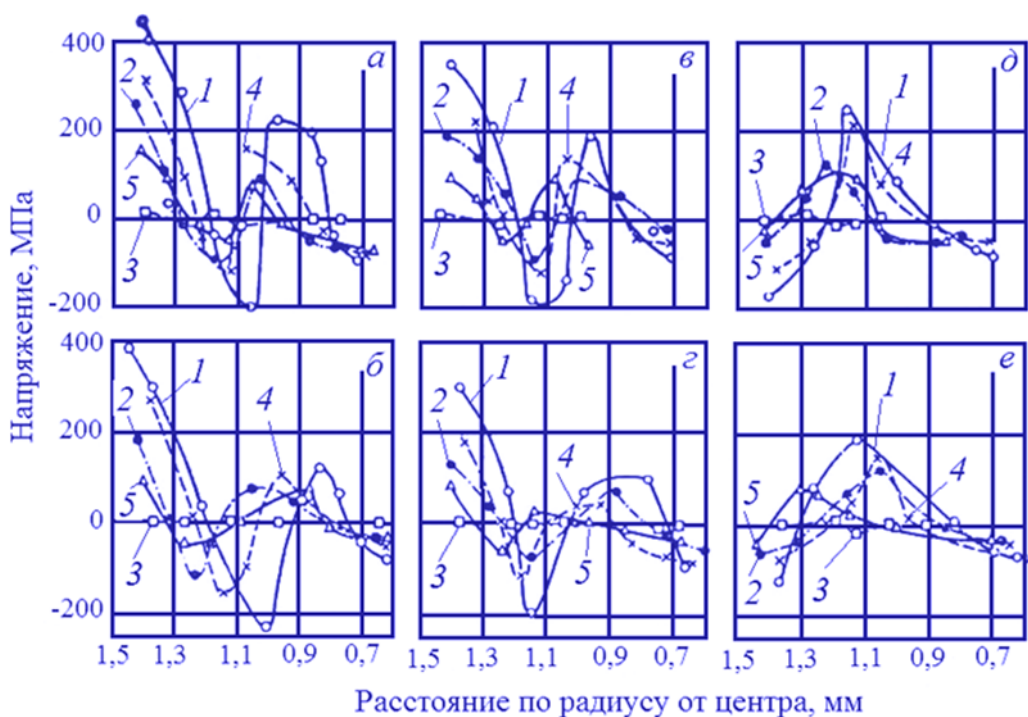
Қалдық кернеулердің таралуының қалыптан тыс өзгеруін, сүйреу кезінде жекелей қысулардың жоғарылауына авторлар [86, 683-92] былайша түсіндіреді. Кішкене қысу көлденең қимадағы деформацияның біркелкісіздігінің жоғарылауына, талшықпен жанасу бетіне жақын металл ағынының тежелуіне әкеледі, бұл сымның беткі қабаттарында созылатын қалдық кернеулердің жоғарылауына әкеледі. Қысудың жоғарылауымен көлденең қиманың деформациясы біркелкі бөлінеді және қалдық кернеулер деңгейі төмендейді. Үлкен қысу кезінде металл негізінен сымның көлденең қимасының орталық аймақтарында деформацияланады. Осьтік аймақта тартудан кейін созылатын қалдық кернеулер, ал перифериялық қабаттарда және қысу кернеулері сақталады.

Көп жағдайда патенттелген болат сымы босатылады. Пластикалық деформация мен жанаспалы үйкелістің жылуына байланысты сүйреу процесінде сымның ішінара босатылуы мүмкін, оның температурасы мен ұзақтығы сүйреу және салқындату жағдайларына байланысты. Бірақ көбінесе босату пештерде өткізіледі. Босату температурасының қалдық кернеулер мөлшеріне әсері У8А, 45 және 10 маркалы болаттардан жасалған диаметрі 3 және 0,5 мм сымда 100...600⁰ С температура диапазонында қыздыру арқылы зерттелді. Мысал ретінде 41-суретте босату температурасының авторлардың жұмыста алған қалдық кернеулердің шамасы мен таралуына әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген [89].

Алынған эксперименттік мәліметтерге сүйене отырып, авторлар 1 сағаттық экспозициядағы кернеулердің толық релаксация температурасын 500⁰ С -қа тең температура деп санауға болады деп тұжырымдайды. Осьтік қалдық кернеулердің сымның көлденең қимасы бойынша таралу сипаты барлық зерттелген температурада босатылғаннан кейін сақталады. Авторлар жұмыста [90] жүргізілген тәжірибелерде қалдық кернеулердің релаксация жылдамдығы жеткілікті жоғары екенін атап өтті. 15...20 С экспозициядан кейін кернеудің релаксациясы дерлік тоқтайды. 200-ден 500⁰ С -қа дейінгі температура үшін осьтік қалдық кернеулердің бірдей деңгейіне жету уақыты әртүрлі, бұл 42-суретте көрсетілген.

Қалдық кернеулердің көлемде, ең бастысы металл бұйымдарының бетінде, атап айтқанда титан қорытпаларынан таралу сипатын өзгерту мақсатында [91] термопластикалық өңдеу технологиясын қолдану және жетілдіру ұсынылады. Металл бұйымдарының беткі қабаттарындағы БПД дәстүрлі әдістерімен деформацияның катаю дәрежесі айтарлықтай мөлшерге жететіндігіне байланысты, жоғары және жоғары температура жағдайында диффузиялық процестер қарқындылығы артады. Бастапқы салқындату кезеңінде өнімнің сыртқы қабаттары олардың мөлшерін азайтуға тырысады, ал температурасы едәуір жоғары ішкі қабаттар бұған жол бермейді. Нәтижесінде беткі қабаттар

созылып, орталық қабаттар қысылады. Егер осы сәтте пайда болатын серпімді қысу кернеулері берілген температура үшін материалдың аққыштық шегінен жоғары болса, онда пластикалық деформация пайда болады. Болашақта сыртқы қабаттардың салқындату қарқындылығы төмендейді және олардың температурасы біртіндеп қоршаған орта температурасына жақындайды. Әрі қарай салқындаған кезде сыртқы қабаттар іс жүзінде деформацияланбайды, ал оның өзегі көлемін едәуір азайтуға тырысады. Сондықтан, салқындату процесі аяқталған кезде, өзек сыртқы қабаттарды қысады, бұл өз кезегінде өзекті созады. Осыған байланысты қатайтылған өнімнің беткі қабатында қысу қалдық кернеулері пайда болады.

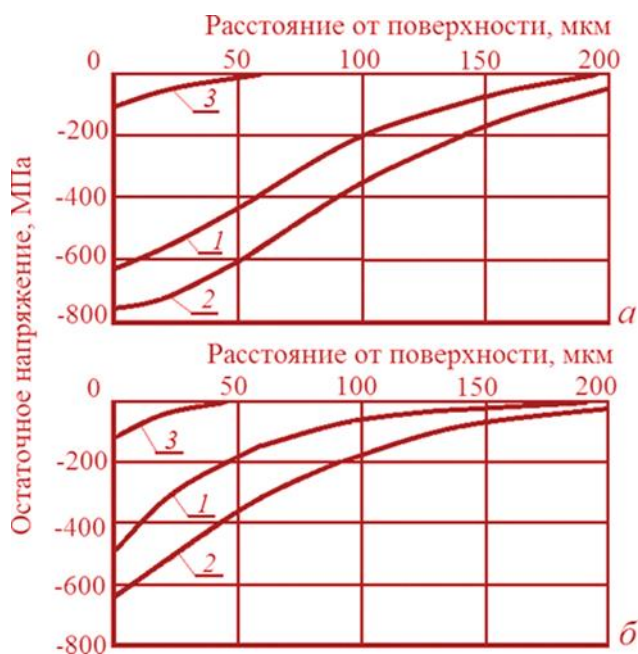


α - жеке сығымдау $\varepsilon = 15\%$, қорғасын ваннасының температурасы $440\text{ }^\circ\text{C}$; б — $\varepsilon = 15\%$, $t = 470\text{ }^\circ\text{C}$; в — $\varepsilon = 25\%$, $t = 440\text{ }^\circ\text{C}$; г — $\varepsilon = 25\%$, $t = 470\text{ }^\circ\text{C}$; д — $\varepsilon = 33\%$, $t = 440\text{ }^\circ\text{C}$; е — $\varepsilon = 33\%$, $t = 470\text{ }^\circ\text{C}$ (қалыпқа келтіру); 1-суық тартылған сым; 2 — $200\text{ }^\circ\text{C}$ кезінде босатылған сым; 3- $300\text{ }^\circ\text{C}$ кезінде бірдей; 4- $400\text{ }^\circ\text{C}$ кезінде бірдей; 5- $500\text{ }^\circ\text{C}$ кезінде бірдей

Сурет 4.1 - Босату температурасына байланысты диаметрі 3,0 мм 45 болаттан жасалған сымдағы осьтік кернеулердің таралуы

Механикалық беттік пластикалық деформацияға негізделген қатайту әдістерімен салыстырғанда, ТПУ әдісінің маңызды ерекшелігі бар: ол іс жүзінде беткі қабаттың қатаю дәрежесінің қосымша өсуін тудырмайды және үлкен тереңдікте қолайлы қысу кернеулерін алуға мүмкіндік береді. Бетіндегі қалдық кернеулердің максимумының орналасуы ТПУ-дың қатайтатын технологиялардың механикалық түрлеріне қарағанда артықшылықтарының бірі болып табылады, онда максималды қысу кернеулері беткі қабатта болады, ал тікелей бетінде кернеулердің төмендеуі байқалады [92].

Құбырларды термиялық өңдеуге қатысты ұқсас технология (МЕМСТ 633-80 бойынша сорғы-компрессорлық мысал) патент материалдарында ұсынылады [93]. Термиялық өңдеу кезінде құбырларды қыздыру жоғары тығыздықтағы токтармен (15 A/mm^2 дейін) және оның беттерін салқындатқыш агентпен салқындату арқылы жүзеге асырылады. Болат құбырларды қыздыру A_{C1} -ден аспайтын температураға дейін орындалады, содан кейін осы температурада 20 минуттан аспайтын температурада ұстау жүргізіледі, содан кейін $75 \dots 100^\circ \text{C/s}$ жылдамдықпен салқындату жүзеге асырылады. Құбырдың сыртқы бетінде реттелетін қалдық қысу кернеулерін жасау үшін ішкі беті салқындатылады. Мұндай кернеулерді ішкі бетінде жасау үшін сыртқы беті салқындатылады. Термиялық өңдеудің бұл режимі құбыр қабырғаларының қалыңдығы бойынша макрокөлемдерде қажетті температуралық айырмашылықтарға және тиісті пластикалық деформацияларға қол жеткізуге мүмкіндік береді.



Қатаю режимдері: тиісінше 800 және 850 $^{\circ}\text{C}$ температурада 1, 2-р = 600 кПа; 3-қатаю жоқ

Сурет 4.2- Болат 40Х — а және болат 45 — б материалдардан жасалған үлгілердің беткі қабатындағы қалдық кернеулер.

Бұл ретте, жылытудың максималды температурасы алдыңғы босату температурасынан аспайтындықтан, негізгі механикалық қасиеттердің сақталуы қамтамасыз етіледі. Токтың тығыздығын 15 A/mm^2 -ден жоғары ұлғайту мұнай құбырларын термиялық өңдеу кезінде белгіленген ұзындығы мен көлденең қимасы бар энергия шығыны тұрғысынан тиімді емес. Ұстау уақытының 20 минуттан асуы қысу кернеулерінің айтарлықтай өсуіне әкелмейді, бірақ энергия шығынын арттырады. 75°C/s -тан төмен жылдамдықпен салқындату кезінде қалдық кернеулер деңгейі жеткіліксіз өзгереді және құбырлардың пайдалану қасиеттерін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік бермейді. Салқындату

жылдамдығының 100 °C/c -тан жоғарылауы қалдық қысу кернеулерінің айтарлықтай өсуіне әкелмейді, бірақ құбырлардың қисаюуына және бұзылуына себеп болуы мүмкін.

Ұсынылған әдісті келесі мысалмен көрсетуге болады. Диаметрі 73 мм, қабырғасының қалыңдығы 5,5 мм, ұзындығы 100 мм құбыр (МЕМСТ 633-80) 23Г2А маркалы болаттан тығыздығы 15 А/мм² электр тогын өткізу арқылы қыздырылды. Құбырдың қызуы пирометрмен бақыланды. Сумен салқындату құбырдың ішіне бүкіл ұзындығы бойынша салынған перфорацияланған штанга арқылы жүзеге асырылды. Қалдық кернеулерді бақылау өткізгіш металдар мен қорытпалардан жасалған бұйымдардың беткі қабатындағы қалдық кернеулерді электроконтактілі бұзбайтын әдіспен өлшеуге мүмкіндік беретін "Ситон" ИВК көмегімен жүргізілді. Жүргізілген эксперименттердің нәтижелері 7-кестеде көрсетілген. Сонымен қатар, максималды қыздыру температурасы алдыңғы босату температурасынан аспағандықтан, өнімдердің негізгі механикалық сипаттамаларын сақтау қамтамасыз етілді: δ өңдеуге дейін 13,51 %, өңдеуден кейін — 14,1% құрады; $\delta_{0,2}$ өңдеуден бұрын— 726 МПа, өңдеуден кейін — 732 МПа құрады; δ_B өңдеуге дейінгі— 828 МПа, өңдеуден кейін — 835 МПа құрады. Алынған нәтижелер 75°C/c төмен жылдамдықпен салқындату қалдық кернеулер деңгейін төмендететінін, алайда кернеулердің өзгеру шамасы құбырлардың пайдалану қасиеттерін елеулі өзгерту үшін жеткіліксіз екенін растайды. Ішкі беттің салқындату жылдамдығын 75...100 °C/c дейін арттыру ішкі беттегі кернеулерді айтарлықтай өзгертпестен сыртқы беттегі кернеулерді 150...200 МПа төмендетуге мүмкіндік береді. Осылайша, құбырларды термиялық өңдеудің ұсынылған режимдерін қолданған кезде құбыр беттерінің біріндегі қалдық кернеулерді басқару және қалдық қысу кернеулерінің қажетті деңгейін құру және оларды пайдалану шарттарына сәйкес келетін құбырдың көлденең қимасы бойынша оңтайлы бөлу мүмкіндігі туындайды [94].

4.1-кесте Термиялық өңдеуден кейін құбыр қабырғаларындағы қалдық кернеулер

№	Қыздыру температурасы, °C	Ұстау уақыты, мин	Салқындату жылдамдығы, °C/c	Қалдық кернеулер, МПа			
				Сыртқы беті		Ішкі беті	
				Өңдеуге дейін	Өңдеуден кейін	Өңдеуге дейін	Өңдеуден кейін
1	500	5	10 (ауа)	-180	-235	175	230
2	600	5	10 (ауа)	-170	-250	160	18
3	550–600	5	75 (ішке су)	-170	-280	65	50
4	550–600	5	75 (ішке су)	-170	-320	65	95
5	550–600	5	100 (ішке су)	-170	-370	65	120
6	550–600	5	100 (ішке су)	-170	-320	65	240
7	600	7	85 (су)	-60	-365	—	—
8	600	20	85 (су)	-60	-395	—	—

Көміртекті болаттан жасалған құбырларды термиялық өңдеу технологиясын жетілдіру тұрғысынан электрмен жанасу әдісімен қыздыру және құбырдың екі бетін де салқындату арқылы құбырлардың коррозиялық-механикалық бұзылуға төзімділігін арттырудың патенттелген тәсілі қызығушылық тудырады, ал қыздыру оның беттерін салқындатумен бір уақытта жүзеге асырылады [95,96].

Мысал ретінде авторлар жұмыста [97] болат сорғы-компрессорлық құбырларды термиялық өңдеу процесін қарастырды. Оның беттерінде қалдық созылу кернеулерін азайтуға және қысқыштарды қалыптастыруға арналған құбыр ұштарында құбырды қыздыру үшін ток өткізетін ток тартқыштармен жабдықталған. Құбыр қабырғаларының беттерін салқындату қоршаған ортаның табиғи конвекциясымен, сұйық немесе газ тәрізді салқындатқыштың мәжбүрлі (жасанды) конвекциясымен жылыту арқылы бір мезгілде жүзеге асырылуы мүмкін. Осылайша, құбырды жылыту және беттер жағынан бір мезгілде салқындату жүзеге асырылады [98].

Құбыр қабырғалардың ішкі көлемінен ішкі және сыртқы беттерге қарай қызады. Бұл жағдайда құбыр қабырғасының қалыңдығы бойынша пайда болатын температура өрістері жер бетіне жақын көлемдермен салыстырғанда ішкі көлемдердің (қоршаған ортамен конвективті жылу алмасу мүмкіндігі жоқ) жоғары температурасымен сипатталады. Қабырғалардың қалыңдығы бойынша температураның айырмашылығы құбыр қабырғаларының қалыңдығы бойынша көлемде әртүрлі бойлық және тангенциалды температураның ұзаруына әкеледі.

Бұл жағдай микрокөлемдегі деформацияларды тудыратын әр түрлі кернеулердің себебі болып табылады. Негізгі беріктік сипаттамаларын (беріктік шегі мен аққыштық шегі) өзгеріссіз сақтау үшін құбырдың максималды қыздыру температурасы Болаттың кристалдық торында өзгерістер тудырмауы керек, яғни нақты құбырлар материалы үшін мүмкін болатын ең жоғары температурадан аспауы керек.

Қалдық кернеулердің мөлшері мен белгілеріне әсер ететін басқа жағдайлар -джоуль жылуымен қыздыру қарқындылығы және салқындату қарқындылығы. Құбырларды салқындатқаннан кейін, яғни қабырғалардың қалыңдығы бойынша температураны теңестіргеннен кейін, беттерді бір мезгілде салқындату арқылы қыздыру кезінде пайда болған микро көлемдегі қалдық деформациялар қалдық созылу мөлшерінің төмендеуіне және құбыр қабырғаларының беттерінен қалдық қысу кернеулерінің пайда болуына әкеледі. Бұл жағдайда құбыр қабырғаларының қалыңдығы бойынша ішкі көлемде жер бетіне жақын қысу кернеулерін теңестіру үшін қалдық кернеулер пайда болады.

Құбыр қабырғасындағы қалдық кернеулердің термиялық өңдеумен қолайлы таралуының қалыптасуы жұмыста сипатталған [99]. Құбырдың термиялық өңдеу әдісі қарастырылады, онда салқындатқыш су құбырдың сыртқы бетін индукциялық немесе электроконтакттілі әдіспен қыздыру арқылы құбыр арқылы айдалады, бұл сыртқы және ішкі беттер арасындағы температура айырмашылығын жасау мақсатында құбырдың ішкі беті созылған кезде немесе сыртқы беті қысылған кезде иілгіш болуы мүмкін, осылайша қалдық қысу

кернеулерін тудырады және сәйкесінше құбырдың ішкі және сыртқы беттеріндегі қалдық созылу кернеулері пайда болады [100].

4.3 Қалдық кернеуді төмендетудің механикалық әдістері

Жоғарыда айтылғандай, кез-келген түрдегі термиялық өңдеу кезінде қалдық кернеулер бойынша өнімдерді түсіру жергілікті пластикалық деформациялардың дамуы нәтижесінде пайда болады. Егер қалдық кернеулер аққыштық шегінен едәуір аз болса, онда олар қозғалу арқылы баяу босаңсытады. Көптеген жағдайларда қалдық кернеулерді неғұрлым толық және жылдам азайту үшін өнімнің әртүрлі уақытша жүктемелері қолданылады, олар қалдық кернеулермен бірге бүкіл өнімде немесе оның жеке бөліктерінде пластикалық деформацияны тудырады. Уақытша шамадан тыс жүктемелерді құрудың ең көне әдістеріне шойын құймаларының барлық жағынан мәжбүрлі діріл және салқындату жатады. Бұл қарапайым әдістер қисаюдың алдын алуда өте тиімді. Шойын құймаларының мөлшерін тұрақтандыру үшін уақытша статикалық жүктемені де қолдануға болады. Сонымен, алюминий қорытпаларының профильдерін түзету үшін дұрыс созылу машиналарында 1...3% созылу қолданылады. Бұл жағдайда престоуден немесе қатайтудан кейін пайда болатын қалдық кернеулер ішінара төмендейді [101].

Сыртқы тұрақты кернеулерден айырмашылығы, қалдық кернеулер циклдік жүктемелердің әсерінен қатты дененің көлеміне қарай азаюы және қайта бөлінуі мүмкін. Циклдік (атап айтқанда, ауыспалы) жүктеме кезінде қалдық кернеулердің бастапқы мәндерін өзгертетін жергілікті пластикалық деформациялар пайда болады. Берстоу әсеріне сәйкес циклдік жүктемелердегі серпімділік шегі статикалық жүктемелерге қарағанда төмен екенін есте ұстаған жөн. Бұл созылу және қысу кернеулеріне бірдей қатысты, бірақ қысу кезінде серпімділік шегі созылғанға қарағанда біршама жоғары екендігі атап өтілді. Айнымалы кернеулерден туындаған пластикалық деформация бастапқы қалдық деформациядан асып кеткен жағдайларда, бөлікте қалдық кернеулер белгісінің өзгеруі де байқалуы мүмкін. И.А. Биргер қалдық кернеулердің төмендеуі әсіресе жүктеменің алғашқы циклдарында қарқынды жүреді, содан кейін тұрақтанады деп санайды. Кейбір жұмыстарда қалдық кернеулердің қарқынды төмендеуі $3...5 \cdot 10^3$ циклге дейін, ал басқаларында $1,35 \cdot 10^6$ және $2,37 \cdot 10^6$ циклге дейін байқалады.

Төмен көміртекті болаттарға арналған шаралар сияқты салыстырмалы түрде төмен кірістілік мәндері бар материалдар үшін кернеудің төмендеуі көбірек байқалады. Сыртқы айнымалы жүктемелерден қалдық кернеулер мен кернеулердің кернеу күйінің көлемдік схемасында қалдық кернеулердің төмендеуі шамалы, өйткені бұл жағдайда пластикалық деформация тарылады.

Егер жиынтықты кернеулер, қалдық және айнымалылар материалдың серпімділік шегінен аспаса, онда қалдық кернеулер айнымалы циклдік кернеулердің әсерінен аз өзгереді. Дірілді өңдеуді айнымалы циклдік жүктеме ретінде қарастыруға болады. Қазіргі уақытта жиілігі 100 Гц дейінгі діріл

әдісімен қалдық кернеулерді төмендетуге арналған қондырғылар қазірдің өзінде жаппай шығарылады.

Орнату әрекеті астық шекараларындағы және тордағы кернеулердің пайда болуын дислокацияның пайда болуымен және кристалдық тордың ақауларымен түсіндіруге болатындығына негізделген. Ішкі үйкеліс үлкен қалдық кернеулері бар жерлерде пайда болады және мыналарды анықтайды жоғары жергілікті энергетикалық күй, нәтижесінде дислокацияның дән шекараларына ауысуы мүмкін және атомдардың шамалы диффузиясы жүреді, бұл өз кезегінде қалдық кернеулердің релаксациясына әкеледі. Бұл дірілге қажетті энергияны азайтады.

Діріл әдісімен қалдық кернеулерді жеңілдету үшін техникалық шарттардың талаптарына сәйкес термиялық өңдеуге болмайтын дайындамаларды да өңдеуге болады. Металл тордағы тербелістер біркелкі емес, көбінесе тор ақауларының салдарынан кернеулердің гетерогенділігі пайда болатын және таза серпімді тербелістердің таралуы қиын жерлерде жоғалады. Сондықтан дислокация пайда болған жерлерде энергия деңгейінің жоғарылауы байқалады, нәтижесінде бұл дислокациялар мен кернеу өрістері қалдық кернеулер алынып тасталатындай қозғалады [102].

Қалдық кернеулер тербелістердің әлсіреуіне әкелетіндіктен және соған байланысты энергия шығындары қозғалтқыштың жұмысынан туындаған діріл кезінде хабарланған энергиямен өтелетіндіктен, электр энергиясының шығыны бойынша кернеу күйінің өзгеруін бағалауға болады. Егер электр энергиясының шығыны азаятын болса, қалдық кернеулерді алып тастау туралы қорытынды жасауға болады.

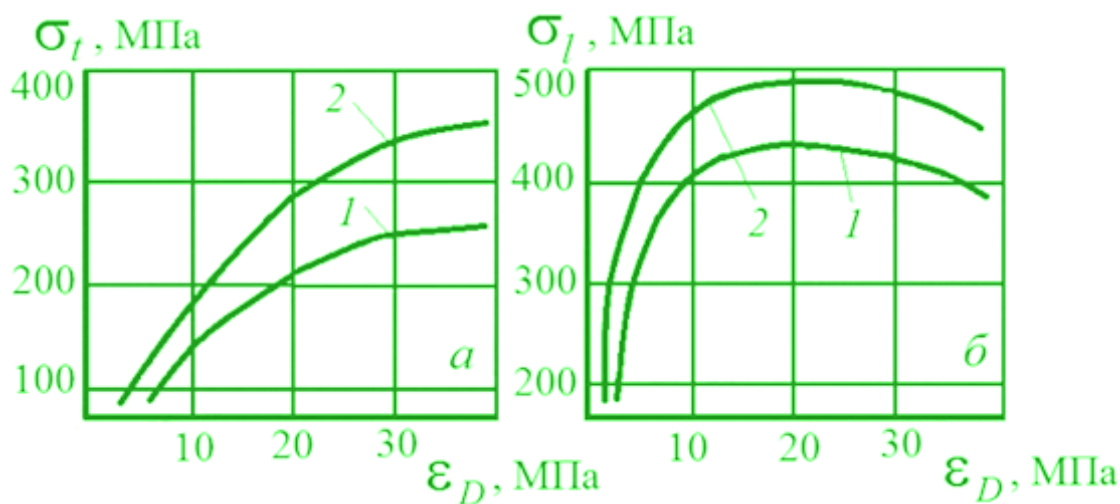
Діріл тек жергілікті пластикалық ағынсыз кернеулердің релаксациясына әкелетіндіктен, нәтижесінде дайындаманың геометриялық өлшемдерінде ешқандай өзгерістер болмайды. Діріл аққыштық шегіне және материалдың беріктігіне әсер етпейді [5, б 47]. Дірілдеу әдістерін сақиналар, қабықшалар, құбырлар және т.б. сияқты тұйық контуры және төрт түйіні бар үлкен габариттердің және салмақтың металл бөліктеріндегі қалдық кернеулерді жою үшін тиімді пайдалануға болады. Шоғырлардағы қалдық кернеулердің төмендеуі максималды, түйіндерде — минималды немесе нөлге жақын, өйткені түйіндегі бөліктің көлденең қимасының металы іс жүзінде деформацияланбайды, өйткені бұл нүктелерде қозғалыстар минималды және иілу моменті болмайды. Металл бұйымдарындағы және әсіресе суық деформацияланған құбырлардағы қалдық кернеулерді азайтудың тиімді әдістерінің бірі ультрадыбыстық тербелістерді қолдану болып табылады. Ультрадыбыстық тербелістерді құбырларды жақтаусыз және жақтаумен тарту кезінде қолдану қалдық кернеулерді 16...30% - ға төмендететіні анықталды. Қалдық кернеулерге әсер етудің бұл әдісі оларды азайту мақсатында сүйреудің, илемдеудің негізгі технологиялық процесімен бірге жүзеге асырылады. Зерттеулер 10, 20 және 12X18 болаттардан жасалған құбырларда ультрадыбыстық тербелістермен және тербелістерсіз бір және бірнеше рет сүйрегеннен кейін жүргізілді.

0,67 м/с жылдамдықпен құбырларды жақтаусыз сүйреу сызықтық орнақта жүзеге асырылды. УЗГ-2–10 генераторынан ультрадыбыстық тербелістер

толқын өткізгіш арқылы бойлық тұрақты толқын тербелістерінің шоғырына орналастырылған талшыққа берілді. Тербеліс амплитудасы 0,02...0,05 мм аралығында болады. Барлық жағдайларда толқынның таралу жылдамдығы сүйреу жылдамдығынан жоғары болды.

Ультрадыбыстық бақылау (УДК) қолдану арқылы жақтаусыз сүйреу кезінде құбырлар әдеттегі технология бойынша дайындалды: бастиекті қағу, күйдіру, залалсыздандыру, жуу, бейтараптандыру, жуу, мысталу, фосфаттау. Қондырғымен сымдау кезінде ультрадыбыстық тербелістер ПМС-15 А-18 типті бір және екі түрлендіргіштер арқылы қондырғыға жеткізілді. Түрлендіргіштердің электр қуаты сәйкесінше 4,5 және 9 кВт құрады. Қондырғының соңындағы тербелістердің амплитудасы 0,015 мм 0,05 мм аралығында өзгерді (ВВВ-2 м типті виброметрмен өлшеу нәтижелері бойынша).

10 және 20 болаттар үшін тангенциалды және осьтік қалдық кернеулер ультрадыбыстық тербелістерді қолдану арқылы тартылған кезде 80...100 МПа-ға азаяды (4.3-суретті қараңыз). Егер жақтаусыз сүйреуден кейін тангенциалды қалдық кернеулердің әсерінен бойлық үйкеліс күштері жиі пайда болатынын ескеретін болсақ, онда ультрадыбыспен сызу деформацияның тең емес өлшемділігін күрт төмендетеді және экстракцияның рұқсат етілген шекті коэффициенттерін арттыруға мүмкіндік береді деген қорытынды жасауға болады.



10-20 болаттан жасалған құбырларды жақтаусыз сүйреуден кейінгі қалдық тангенциалдық σ_t — а және σ_l — б бойлық кернеулер

Сурет 4.3 - Құбырларды ультрадыбыстық тербелістермен (1) және тербелістерсіз (2)

Шамасы бойынша тангенциалды кернеулер бойлық кернеулерден айтарлықтай, орташа есеппен 400 МПа-ға асып түседі.

Бірнеше рет сүйреу кезінде кернеулердің деформация дәрежесіне тәуелділігі күрделірек болады. Айқын максимум жоқ, қалдық кернеулер диаметрі бойынша жоғары (45%-дан астам) қысу аймағында қарқынды өседі. Деформацияның жоғарылауы кезінде қалдық кернеулердің жоғарылауы бұзылған құбырлар санының көбеюіне әкеледі. Ультрадыбыспен сүйреу кезінде

құбырлардың жарылуы айтарлықтай төмендейді. Тар құбырлардан созылған барлық құбырлардың бұзылуын диаметрі 80% - дан асатын қысу кезінде ғана күтуге болады.

Осылайша, құбырларды жақтаусыз сүйреу кезінде ультрадыбыстық тербелістерді қолдану созылған құбырлардың қалдық кернеулерден кешіктірілген бұзылу қаупін арттырмай, бір реттік және жиынтық деформацияларды едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Термиялық өңдеуге қарама-қайшы әдіс ретінде беттік деформацияны қолдану қалдық кернеулерді жоймайды, бірақ металл өнімдерінің сенімділігі мен беріктігін едәуір арттыратын беттік қабатта қысу кернеулерін тудырады. Сонымен қатар, еңбек шығындары, қажетті жабдықтардың саны, технологиялық операциялардың саны күрт азаяды, өйткені көбінесе қалдық кернеулерді реттеу процесі өнімді өндірудің соңғы жұмысымен біріктіріледі.

Роликтің бетін бытыралы ағынмен өңдеу немесе ысылту кезінде беттік қабаттарда қысушы қалдық кернеулері пайда болады. Беткі қабаттың ұсақталуы беткі элементтердің сызықтық өлшемдерінің ұлғаюына әкеледі, ал беткі қабатта қысу қалдық кернеулерінің біртекті өрісі пайда болады [7, б35]. Бұл кернеулер өнімнің орталық көлеміндегі кішігірім созылу кернеулерімен теңестіріледі. Өтімділік шегіне жақын беттік қысу кернеулері 1...2 мм тереңдікке таралуы мүмкін.

Тегіс үлгілер үшін майыстырған және бұраған кезде домалатудан немесе бытыралы ағынмен үрлеуден кейін төзімділік шегі 10...30% - ға артуы мүмкін. Беттік механикалық қатайту әсіресе кернеу концентраторлары (галтельдер, саңылаулар, ойықтар және т.б.) болған кезде тиімді. Коррозия жағдайында, оның ішінде үйкеліс коррозиясында жұмыс істеген кезде тойтарылған беті бар бөлшектердің беріктігінің айтарлықтай артуы байқалды.

Эксперименталды түрде беттік тойтаруәсері қаттылығы жоғары қорытпаларға көбірек әсер ететіндігі анықталды. Беткі қабаттың шаршау күші мен коррозияға төзімділігінің жоғарылауы екі негізгі себепке байланысты: қысу қалдық кернеулерінің қолайлы әсері және беттік қатаю нәтижесінде беткі қабаттың механикалық қасиеттерінің жақсаруы.

XX ғасырдың 60-жылдарында зерттеулерде электрогидроимпульсті өңдеу процесінде кез келген конфигурациядағы металл бұйымдары мен дәнекерленген конструкциялардағы қалдық кернеулердің деңгейін төмендетудің әсері байқалды. Бұл әдістің мәні өнімнің кернеулі учаскелерін судағы жоғары вольтты разрядтардан туындаған бірнеше қысым импульстарымен өңдеу болып табылады. Қалдық кернеулердің төмендеуі негізінен металда қозған кернеу толқындарының табиғи дислокациялық - жылжу релаксация процестерін белсендіруіне байланысты болады. Әдіс идеясы нақты қорытпалардағы кернеулердің макро және микро деңгейлерде біркелкі бөлінбеуі және қарама - қарсы белгінің жергілікті кернеулерін қалыптастыру гипотезасына негізделген. Көптеген металдар мен қорытпалар концентрацияланған энергия көздерімен қайталанатын 60-жылдарында зерттеулерде электрогидроимпульсті өңдеу процесінде кез-келген

конфигурациядағы металл бұйымдары мен дәнекерленген конструкциялардаға көрінеді.

Осылайша, суық деформацияланған металл бұйымдарындағы ішкі кернеулерді босату және қайта бөлу үшін термиялық өңдеудің орнына электрогидроимпульсті өңдеуді қолдануға болады.

Пластикалық деформациядан және термиялық өңдеуден кейін өнімдердегі қалдық кернеулердің деңгейін төмендету тұрғысынан электропластикалық өңдеудің әсері қызығушылық тудырады.

Қазіргі уақытта деформация металының кедергісінің күрт төмендеуі және жоғары тығыздықтағы электр тогының әсерінен (шамамен 10^5 А/см²) немесе қарқынды электронды сәулеленудің әсерінен икемділіктің жоғарылауы анықталды. Бұл құбылыс шартты түрде электропластикалық әсер деп аталды.

Ток немесе сәулелену импульстарының ұзақтығы $10^{-5} \dots 10^{-4}$ с құрайды, бұл кристалдардағы олар қоздырған деформация секірулерінің ұзақтығынан бірнеше есе аз. Металл кристалдарының пластикалық деформациясын қысқа импульстармен ынталандыру спазмодикалық деформацияны зерттеу саласында жаңа мүмкіндіктер ашады. Мұндай әсер ету әдісі кристалдардың деформациясының біркелкілігін арттырады, кернеулердің релаксациясына ықпал етеді, дислокациялық құрылымның пайда болуы мен даму процестерін басқаруға мүмкіндік береді. Техникалық маңызды материалдардың деформация аймағында жоғары тығыздықтағы токты қолдану оларды қысыммен өңдеу процесін күшейтуге мүмкіндік береді, бұл әсіресе отқа төзімді және еңбек Деформацияланатын металдар мен қорытпалар үшін өте маңызды. Технологиялық ауысулардың саны, қымбат өңдеу құралының шығыны азаяды және өңдеуден кейін материалдың физика-механикалық қасиеттері жақсарады. Электропластикалық сызу және илемдеу негізінде бірқатар техникалық маңызды материалдардың қысымын өңдеудің жаңа жоғары өнімді әдістері мен технологиялық процестері жасалуы мүмкін.

Электропластикалық өңдеудің тиімділігі аустенитті болаттан жасалған сымды тарту кезінде орнатылған [103]. Сымды жоғары тығыздықтағы импульстік токтармен тарту кезінде пайда болатын материалдың деформацияға төзімділігін төмендету, сым құрылымын қайта құру, оның жетілу дәрежесін өзгерту және, сайып келгенде, оның электр кедергісі мен қатаю дәрежесіне әсер ететін сымдағы δ фазаның күрт төмендеуін негізінен күйдірілген бастапқы материал құралатын болат сымдағы аустенит фазасына токтың электропластикалық әсерімен түсіндіруге болады.

Сым құрылымының икемділігінің жоғарылауы, оның жетілу дәрежесінің өзгеруі және ақырында оның электр кедергісі мен қатаю дәрежесіне әсер ететін сымдағы δ фазасының күрт төмендеуі негізінен күйдірілген бастапқы материалды құрайтын болат сымдағы аустенит фазасына токтың электропластикалық әсерімен түсіндірілуі мүмкін. Аустенит фазасының икемділігінің жоғарылауы сымды тарту кезінде ішкі қалдық кернеулердің деңгейін төмендетеді. Сымдау кезінде тот баспайтын болатты өңдеу зонасына тоқ жеткізу сым көмегімен немесе 45-суретте көрсетілгендей айналмалы жезден

және мыс-графитті щеткалармен жеткізіледі. Бұл жағдайда ток әсер ететін сымның бөлігі триэтаноламин мен олеин қышқылы бар ағынды эмульсиямен салқындатылады. Сымдау жылдамдығы 0,5 ... 3,0 м/с құрайды.

Төртінші тарау бойынша қорытынды

Машина тетіктерін жасаудың сапасы мен тиімділігі материалдарды кесіп өңдеу үрдісінің рационалды өткізуіне байланысты болып келеді. Оған жататын мынадай жағдайлар: а) аспаптың кесу бөлігінің жүздерінің қайралуы және геометриялық параметрлері оптималды сонымен қатар сапалы болса; б) дайындалған бұйымды өңдеу экономикалық және техникалық қырынан тиімді берістер мен кесу жылдамдықтарында іске асса; в) білдектің кесу және беріс жылдамдығындағы қораптардың механизмдерін динамикалық және кинематикалық мүмкіндіктерге негізделген кесу және беріс жылдамдықтардың нәтижеден шыққан мәндерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Қалдық кернеулерді алып тастайтын және қайта бөлетін тиімді технологиялық әдістерге мыналар жатады:

- термиялық өңдеу;
- термомеханикалық өңдеу және металл бұйымдарын регламенттелген мәжбүрлі немесе деформациялық қыздырумен пластикалық деформацияның барлық нұсқалары;
- жазықтық немесе термиялық өңделген бұйымдарға механикалық көлемдік және беттік әсер ету;
- металды қысыммен өңдеудің технологиялық параметрлерін ұтымды таңдау.

Қалдық кернеулерді азайту үшін күйдіруді техникада кеңінен қолданылады. Ол зиянды қалдық созылу кернеулерін азайтады, әсіресе көлемді кернеу жағдайында қауіпті, рұқсат етілген сыртқы жүктемелерді арттыруға мүмкіндік береді, шаршау мен соққы жүктемелеріне төзімділікті арттырады, сынғыш бұзылуға, кристаллалық коррозияға және коррозиялық шаршауға бейімділікті төмендетеді, өлшемдерді тұрақтандырады және өнімдердің азаюына жол бермейді. Металл бұйымдарының беткі қабаттарындағы БПД дәстүрлі әдістерімен деформацияның қатаю дәрежесі айтарлықтай мөлшерге жететіндігіне байланысты, жоғары және жоғары температура жағдайында диффузиялық процестер қарқындылығы артады. Бастапқы салқындату кезеңінде өнімнің сыртқы қабаттары олардың мөлшерін азайтуға тырысады, ал температурасы едәуір жоғары ішкі қабаттар бұған жол бермейді. Нәтижесінде беткі қабаттар созылып, орталық қабаттар қысылады. Егер осы сәтте пайда болатын серпімді қысу кернеулері берілген температура үшін материалдың аққыштық шегінен жоғары болса, онда пластикалық деформация пайда болады. Болашақта сыртқы қабаттардың салқындату қарқындылығы төмендейді және олардың температурасы біртіндеп қоршаған орта температурасына жақындайды.

5 Қалдық кернеулерді компьютерлік модельдеу

Деформацияланатын қатты дененің механикасында толық теңдеулер жүйесі үш қатынас тобынан тұрады [103]:

- Күш факторларының баланстық теңдеулері;
- Деформацияларды жалпыланған орын ауыстырулар арқылы өрнектеу;
- Күш факторлары мен деформациялар арасындағы байланыстар.

Серпімділіктің классикалық теориясында бұл:

$$\nabla \cdot \tau + \int = 0, \varepsilon = \nabla u^s, \tau = \partial \Pi / \partial \varepsilon = C \cdot \varepsilon \quad (5.1)$$

τ, ε кернеу мен деформация тензорлары (2-ші дәреже), u – орын ауыстыру векторы, C – материалдың қаттылық тензоры (4-ші дәреже), ∇ – Гамильтон операторы, Π – көлем бірлігіне деформацияланатын энергия. Шекаралық шарттар келесідей:

$$u|_{01} = u_0, n \cdot \tau|_{02} = p \quad (5.2)$$

Мәселе вариациялық тұжырымдалады:

$$\mathcal{E}(u) = \int_V (\Pi(\varepsilon) - f \cdot u) dV - \int_{O_2} p \cdot u dO \rightarrow \min$$

ANSYS функционалды пакеті (3) Ритц әдісімен минимизациялауға негізделген. Орын ауыстырулардың сызықтық жуықтауы жағдайында алгебралық жүйені құруға және шешуге келтіріледі. Бұл соңғы элементтер әдісі.

Жалпылау дегеніміз – квадрат түрінде көрсетілген физикалық $\Pi(\varepsilon)$ сызықтық емес жағдай.

Бастапқы кернеулер жағдайында «Гук заңын» келесідей өзгертуге болады:

$$\tau = \tau_0 + C \cdot \varepsilon \quad \tau = c(\varepsilon - \varepsilon_0) = c\varepsilon - c\varepsilon_0 = c\varepsilon - \tau_0 \quad (5.4)$$

ANSYS жүйесінде берілген τ_0 өрісі сыртқы әсер қызметін атқарады және есептеулер τ_0 ретінде қалады. Сыртқы әсер жылу тапсырмасын модельдеу түрінде шешіледі:

$$[k] * \{u\} = \{F\} + \{Ft\}, \quad (5.5)$$

мұндағы F – қуат жүктемесі және F^t – температуралық жүктеме; шекті элемент үшін $\{F_t\}e = \int_V [B]^T [D] \{e\} dV$, мұндағы

F^t – температуралық жүктемелердің векторы;

B – пішінді функциялардың туындыларының матрицасы; D – материалдың серпімділік қасиеттерінің матрицасы;

e - термиялық деформациялар векторы.

5.1 Ақырғы элементтер әдісі және ANSYS бағдарламалық пакеті

Ақырғы элементтер әдісі (АЭӘ) қолданбалы физика есептерін шешуге арналған сандық әдіс болып табылады. Бұл әдіс деформацияланатын қатты механика, жылу алмасу, гидродинамика және электродинамика мәселелерін шешу үшін кеңінен қолданылады.

Ақырғы элементтер әдісінің пайда болуы 1950 жылдардағы ғарыштық зерттеулер мәселелерін шешумен байланысты (АЭӘ идеясын кеңес ғалымдары 1936 жылы әзірлеген, бірақ компьютерлік технологияның болмауына байланысты әдіс қолданылмады). Бұл әдіс құрылымдық механика мен серпімділік теориясынан туындады, содан кейін ғана оның математикалық негіздемесі алынды. АЭӘ өзінің дамуында 1963 жылы айтарлықтай серпін алды, ол құрылымдық механикада кең таралған Рэйли-Риц әдісінің нұсқаларының бірі ретінде қарастырылуы мүмкін екендігі дәлелденді, ол потенциалдық энергияны азайту арқылы мәселені төмендетеді. Сызықтық тепе-теңдік теңдеулер жүйесіне әкелді. АЭӘ-нің минимизация процедурасымен байланысы орнатылғаннан кейін ол Лаплас немесе Пуассон теңдеулерімен сипатталған есептерге қолданыла бастады. АЭӘ қолдану саласы айтарлықтай кеңейді, есептердегі элементтерді анықтайтын теңдеулерді ең кіші квадраттар әдісі арқылы оңай алуға болатыны анықталған кезде (1968 ж.). Бұл АЭӘ -нің теориялық негізделуінде маңызды рөл атқарды, өйткені ол оны дифференциалдық теңдеулердің көптеген түрлерін шешуде қолдануға мүмкіндік берді. Осылайша, ақырлы элементтер әдісі дифференциалдық теңдеулер немесе дифференциалдық теңдеулер жүйесін сандық шешудің жалпы әдісі болды.

Есептеу құралдарының дамуымен әдістің мүмкіндіктері үнемі кеңейіп, шешілетін есептер класы да кеңейіп келеді. Барлық дерлік қазіргі беріктік есептеулері ақырлы элементтер әдісімен жүзеге асырылады.

Бұл жұмыста ANSYS бағдарламалық жүйесін және компьютерлік модельдеуді қолдану тек күрделілікпен ғана емес, сонымен қатар қалдық кернеулерден туындаған талдауымен байланысты мәселелерді аналитикалық шешудің жиі мүмкін еместігімен байланысты.

ANSYS - соңғы 30 жыл бойы қалыптасқан және дамыған соңғы элементтерді талдауға арналған әмбебап бағдарламалық қамтамасыз ету жүйесі, конструкция элементтердің контактілік өзара әрекеттесуінің стационарлық емес геометриялық және физикалық сызықтық емес мәселелерін қоса алғанда, қатты механика мен құрылымдық механикадағы есептерді автоматтандырылған инженерлік есептеулер саласындағы мамандар арасында өте танымал.

Модельдеу және талдау «жобалау - өндіру - сынақ» сияқты қымбат және ұзақ даму циклдарынан аулақ болады.

ANSYS бағдарламалық жүйесі белгілі CAD жүйелерімен интерфейс жасайды Compas, CATIA, ProENGINEER, SolidWorks және т.б. Бағдарламаның бірінші жүзеге асырылуы оның соңғы нұсқаларынан айтарлықтай ерекшеленді және тек жылу беру мен беріктік мәселелерін сызықтық тұжырымда шешуге қатысты болды. XX ғасырдың 70-жылдарының басында, жана есептеуіш технологияларды енгізуге және пайдаланушылардың сұраныстарын орындауға байланысты жүйеге көптеген өзгерістер енгізілді. Әртүрлі сипаттағы бейсызықтықтар қосылды, қосалқы құрастыру әдісін қолдану мүмкін болды, ақырлы элементтер кітапханасы кеңейді. Компания сол кезде пайда болған дербес компьютерлер мен векторлық графикалық терминалдарға назар аударды. Бірнеше жыл ішінде бұл жаңа аппараттық құралдар компанияның бағдарламалық жасақтамасының әзірлемелерімен игерілді.

1970 жылдардың соңында ANSYS жүйесіне маңызды қосымша жұмыстың интерактивті режимі болды. Бұл АЭ моделін құру және нәтижелерді бағалау процедураларын айтарлықтай жеңілдетті. Есептеуді бастамас бұрын модельдің геометриясын, көрсетілген материал қасиеттерін және шекаралық шарттарды тексеру үшін интерактивті графиканы пайдалану мүмкін болды. Шешім нәтижелерін интерактивті басқару үшін графикалық ақпаратты дереу экранда көрсетуге болады.

5.2 Қалдық кернеулерді модельдеу принциптері

Көміртектірілген кезінде қалдық кернеулерді модельдеу әдістемесі қарастырылады. Негізгі бастапқы параметр - көміртектің берілген немесе тәжірибелік түрде анықталған бөлігінің тереңдігі бойынша таралуы. Зерттеу нысаны ретінде сақина таңдалды.

Металл конструкциялық материалдардан жасалған бұйымдардағы қалдық кернеулер бөлшектердің беріктігін қамтамасыз етуде өте маңызды рөл атқарады .

Бұл кернеулердің әсер ету аймағы өте кең. Бұл жұмыста біз тек химиялық-термиялық өңдеу және, атап айтқанда, карбюрзациялау арқылы қатайту кезінде пайда болатын кернеулерді қарастырамыз. Болаттар көп жағдайда тозуға төзімділікті, құрылымдық және жанасу беріктігін арттыру үшін қолданылатыны белгілі. Қалдық кернеулердің таралу заңдылықтарын зерттеудің өте тиімді әдістерінің бірі модельдеу болып табылады. Бұл ең аз тәжірибелермен кернеу-деформация күйі туралы шынайы ақпаратты алуға мүмкіндік беретін модельдеу. Модельдеу әдістерінің азғыруына қарамастан, бұл салада айтарлықтай прогресс соңғы элементтер әдісін және ANSYS бағдарламасын қолданғанда ғана көрінуі мүмкін [104, 105]. Карбюрленген бөлікке арналған КДК есебін шешудің аналитикалық әдістері, тіпті ең қарапайым нысаны да, практикалық қажеттіліктер үшін тым күрделі және дәл емес.

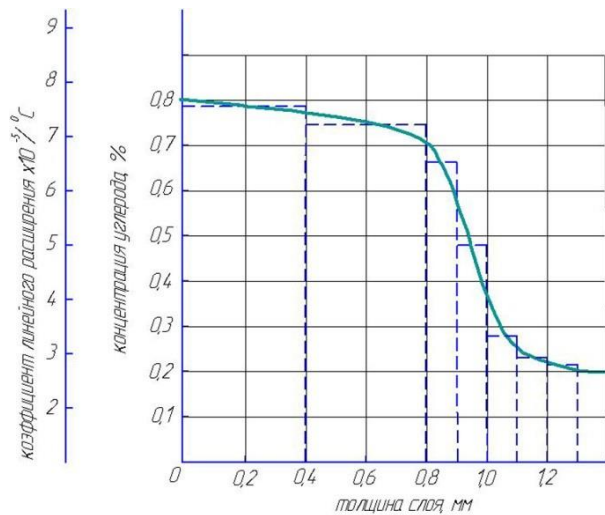
Карбюрленген бөліктің материалы әртүрлі көміртегі бар және сәйкесінше құрылымы әртүрлі және физикалық-механикалық қасиеттері бар болат маркаларының тұтас жиынтығы болып табылады. Өкінішке орай, әдебиеттерде мартенситтің меншікті көлемдері туралы нақты деректер жоқ, әсіресе легирленген болаттар үшін. Бұл мартенсит және мартенсит пен ферриттің меншікті көлемдеріндегі айырмашылық КДК пайда болу себебі болып табылады. Егер көміртекті болат үшін мартенситтің меншікті көлемінің көміртегі құрамына тәуелділігі белгілі болса, легирленген болатта бәрі әлдеқайда күрделі. Қалдық аустенит легирленген болатта пайда болады. Карбюрленген қабатта ұсталған аустенит тек рентгендік әдіспен анықталады. Қалдық кернеулерге және сәйкесінше дифракциялық сызықтардың бұлыңғырлануына байланысты әдістің дәлдігі төмен. Тікелей бетінде және тіпті он микрон тереңдікте қалдық аустенит басқа кернеу күйіне ие, сондықтан $\gamma \rightarrow \alpha$ түрленуінің стимулы әртүрлі. Жұқа беттік қабаттағы ұсталған аустениттің мөлшерін айтудан гөрі болжауға болады. Тиісінше, бұл беттің тікелей маңындағы фазалардың нақты көлемі туралы ақпарат.

Осылайша, көміртекті бөлікте КДК мәселесін аналитикалық шешуге қажетті көптеген белгісіз параметрлер бар.

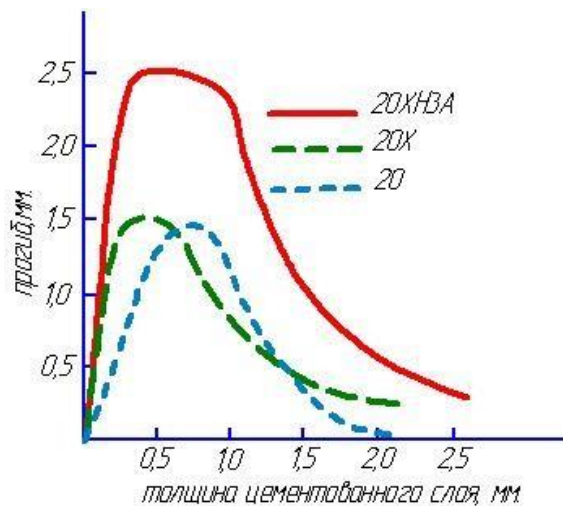
Белгісіз параметрлердің әсерін азайту үшін келесі әдістеме қабылданды: 20; 20X; 18НХТ; 20КХ3А болаттардан жасалған сақиналар жағынан 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мм тереңдікке дейін цементтелді. Цементтеуден кейін мыс жабыны алынып тасталды және 0,1 мм қадаммен химиялық талдау арқылы көміртектің тереңдікке таралуы анықталды. Бұл ретте электр кедергісін өлшеу принципі бойынша жұмыс істейтін X-RT 804 құрылғысы калибрленді. Кейіннен болаттың таңдалған сорттары үшін көміртектің таралуы X-RT 804 құралы арқылы бағаланады. Цементацияланған үлгілер стандартты технология бойынша суытылды және шындалды. ТӨ өткен үлгілер иілуге өлшенді. Иілу шамасы, ауытқуға сәйкес келетін қалыпты кернеулер және көміртектің тереңдікке таралуы ANSYS жүйесінде пластиналардың кернеу-деформация күйін анықтауға арналған бастапқы деректер болып табылады. Жұмыста фазалардың меншікті көлемі көміртегінің құрамына тура пропорционалды деп болжанып қабылданды. Әдебиеттер [31] деректері бойынша мартенситтік трансформация кезінде көлемнің ұлғаюы 4–5% құрайды.

Соңына келгенде, ANSYS мартенситтің кеңеюінің көлемдік сипаттамасын емес, үлгі қалыңдығы бойынша көміртегі концентрациясы сияқты өзгеру үлгісіне ие болатын орташа сызықтық кеңею коэффициентіне қайта есептелген сызықтық сипаттамасын пайдаланады [106].

Суретте. 5.1-суретте сызықтық кеңею мен көміртегі концентрациясының орташа коэффициентінің үлгі қалыңдығына тәуелділігі көрсетілген. Көміртек концентрациясының берілген диапазоны бар әрбір қабатқа қабаттағы көміртегінің орташа концентрациясына сәйкес келетін сызықтық кеңею коэффициенті тағайындалады. Болашақта пластинадағы көлемдік өзгерістерді модельдеу үшін соңғысына эксперименттік үлгінің деформациясына тең деформация тудыратын эквивалентті температура беріледі.



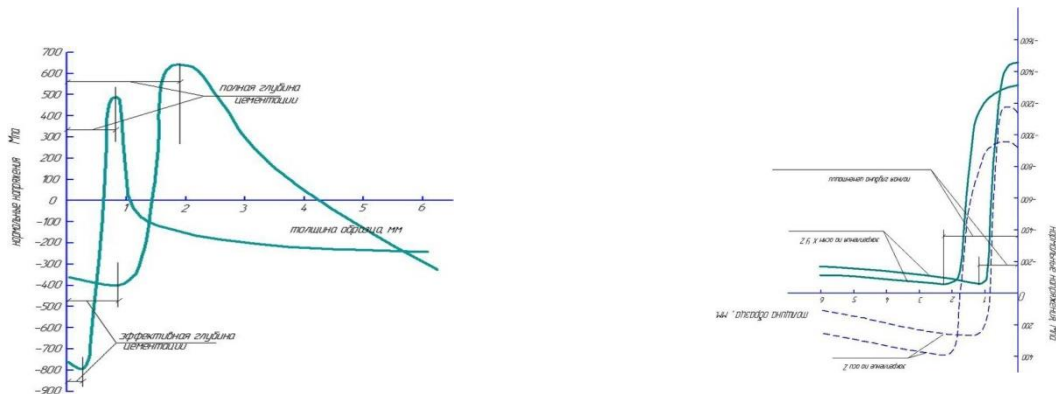
Сурет 5.1 - 20X болатқа арналған пластинаның қалыңдығы бойынша көміртегі концентрациясының және сызықтық кеңею коэффициенттерінің таралуы



Сурет 5.2 - Майысудың цементтелген қабаттың қалыңдығына тәуелділігі

Тәжірибеде сызықтық кеңею коэффициенттерін таңдау ординаттар осі бойынша сандық мәндердің ығысуына әкеледі. Графиктің пішіні әрқашан көміртектің қалыңдығы бойынша таралуына сәйкес болады. Мартенситтік түрлену нәтижесінде пайда болатын көлемдік өзгерістерді модельдеу пластинаның барлық көлемінің сызықтық кеңеюінің тұрақты коэффициентінде цементтелген қабаттың белгілі бір температурасын құру арқылы да жүзеге асырылуы мүмкін. Осы әдістердің біреуін таңдау талданатын бөліктің конфигурациясына байланысты. Қалыпты серпімділік модулі 2×10^{11} МПа деп қабылданады; Пуассон қатынасы - 0,3; карбюрленген бөліктің өзегінің беріктігіне байланысты аққыштық шегі 300-ден 1400 МПа-ға дейін. Есептерде көміртегі концентрациясының таралуы дискретті түрде қабылданады: шағын өзгерістер аймағында қадам 0,2–0,4 мм; өтпелі аймақта 0,1 мм (5.1-сурет).

5.3-суретте. Сақина үлгісі Компас 3D бағдарламасында жасалады және ANSYS-ке импортталады.



a - бекітүсіз сақина; b - 16×150 жазықтық бойымен бекітілген сақина

Сурет 5.3 - сақинадағы қалдық кернеулердің қалыңдығы бойынша таралуы

Графиктер 16×150 жағына перпендикуляр және центрдегі сақинаның бүкіл кесіндісі арқылы өтетін жазықтықтағы қалыпты кернеулерді бейнелейді. Карбюризациялау тереңдігі әртүрлі сақинадағы кернеулерді есептеуді талдау, жалпы алғанда, бұл нәтижелер әдебиеттерде бар тәжірибелік әдістерге қайшы келмейтінін көрсетті [107]. Дегенмен, айырмашылықтар да бар. Бұл жұмыста зерттелген барлық жағдайларда тікелей бетіндегі кернеу тереңдігіне қарағанда аз. Бұл ұсталған аустенитке байланысты емес. Осыған сәйкес бұл қабаттардағы көміртегімен қанығудан болатын деформациялар бірдей дерлік. Сақинаның қалыңдығы бойынша жалпы деформациялардың таралуы таза иілудегі сияқты сызықты. Нәтижесінде кернеулермен байланысты деформациялар енді жер бетінде емес, жер асты қабатында болады. Цементтелген және қарама-қарсы жақтарда әрқашан қысу кернеулері болады, олардың ауданы созылу кернеулерінің өте маңызды аймағымен бөлінген. Бұл аймақта пластикалық деформация пайда болуы мүмкін, содан кейін кернеуді босаңсыту. Максималды қысу кернеулерінің төмендеуі көміртегі концентрациясы $0,7\%$ төмендегеннен кейін басталады. Максималды созылу кернеуі цементтеудің жалпы тереңдігіне сәйкес келеді. Цементтелмеген беттің 16×150 жазықтығы бойынша кейіннен бекіту арқылы пластинаны түзету кернеу күйін күрт өзгертеді. График түзетудің екі нұсқасын көрсетеді: Цементтелген және қарама-қарсы жақтарда әрқашан қысу кернеулері болады, олардың ауданы созылу кернеулерінің өте маңызды аймағымен бөлінген. Бұл аймақта пластикалық деформация пайда болуы мүмкін, содан кейін кернеуді босаңсыту. Максималды қысу кернеулерінің төмендеуі көміртегі концентрациясы $0,7\%$ төмендегеннен кейін басталады. Максималды созылу кернеуі цементтеудің жалпы тереңдігіне сәйкес келеді. Цементтелмеген беттің 16×150 жазықтығы бойынша кейіннен бекіту арқылы пластинаны түзету кернеу күйін күрт өзгертеді. График түзетудің екі нұсқасын көрсетеді: Цементтелген және қарама-қарсы жақтарда әрқашан қысу кернеулері болады, олардың ауданы созылу кернеулерінің өте маңызды аймағымен бөлінген. Бұл аймақта пластикалық деформация пайда болуы мүмкін, содан кейін кернеуді босаңсыту. Максималды қысу кернеулерінің төмендеуі көміртегі концентрациясы $0,7\%$ төмендегеннен кейін басталады.

Максималды созылу кернеуі цементтеудің жалпы тереңдігіне сәйкес келеді. Цементтелмеген беттің 16×150 жазықтығы бойынша кейіннен бекіту арқылы пластинаны түзету кернеу күйін күрт өзгертеді. График түзетудің екі нұсқасын көрсетеді: Бұл аймақта пластикалық деформация пайда болуы мүмкін, содан кейін кернеуді босаңсыту. Максималды қысу кернеулерінің төмендеуі көміртегі концентрациясы $0,7\%$ төмендегеннен кейін басталады. Максималды созылу кернеуі цементтеудің жалпы тереңдігіне сәйкес келеді. Цементтелмеген беттің 16×150 жазықтығы бойынша кейіннен бекіту арқылы пластинаны түзету кернеу күйін күрт өзгертеді. График түзетудің екі нұсқасын көрсетеді: Бұл аймақта пластикалық деформация пайда болуы мүмкін, содан кейін кернеуді босаңсыту. Максималды қысу кернеулерінің төмендеуі көміртегі концентрациясы $0,7\%$ төмендегеннен кейін басталады. Максималды созылу кернеуі цементтеудің жалпы тереңдігіне сәйкес келеді. Цементтелмеген беттің 16×150 жазықтығы бойынша кейіннен бекіту арқылы пластинаны түзету кернеу күйін күрт өзгертеді. График түзетудің екі нұсқасын көрсетеді:

«Жұмсақ» - Z осі бойынша және «қатты» - X, Y, Z осьтері бойымен «Жұмсақ» бекіту кезінде барлық қабаттардың жалпы деформациялары бірдей. Пластина қимасындағы қалыпты кернеулердің қосындысы нөлге тең, ол нөлдік бойлық күшке сәйкес келеді. Сондықтан кернеулердің таралуы көміртегі концентрациясының тереңдікке таралуына кері болады. «Қатты» бекіту кезінде созылу кернеулері аймағы толығымен жойылады. Максималды қысу кернеулері тікелей бетке ауысады және шамамен үш есе артады.

Ұзақ аймақтың тереңдігі цементтеудің жалпы тереңдігіне ($0,25-0,3\%$ көміртегі концентрациясына дейін) сәйкес келеді.

Бесінші тарау бойынша қорытынды

1. Тәжірибелердің ең аз санымен ANSYS бағдарламалық модулі болат бұйымдарының бетін қатайтудың әртүрлі нұсқаларын модельдеуге және жүктемелерді модельдеуге мүмкіндік береді.
2. Ең үлкен қысу кернеулеріне карбюризацияның ең аз тереңдігінде қол жеткізіледі.
3. Цементтеу тереңдігінің ұлғаюымен қысу кернеулерінің шамасы азаяды және созылу кернеулерінің әсер ету ауданы мен амплитудасы артады.
4. ANSYS жүйесінде модельдеу сыртқы күштердің әсерінен кернеу өрісін ескере отырып, шындалған қабаттың оңтайлы қалыңдығын таңдауға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Машина жасауды дамытудың қазіргі деңгейі металл өнімдерінің сапасын үздіксіз арттыруды талап етеді және осы бағыттағы жолдардың бірі қалдық кернеулер туралы идеяларды, оларды бақылау, өлшеу, релаксация және олардың мөлшерін басқару әдістерін дамыту болып табылады. Осыған байланысты мәселеге жан-жақты қарап, қалдық кернеулер құбылысының барлық қырларын қарастыру қажет. Енді қалдық кернеулер металл конструкцияларының бұзылуына әкеліп қана қоймай, керісінше олардың өнімділігін бірнеше есе арттыратыны анық. Сондықтан қалдық кернеулердің белгілі бір деңгейі немесе олардың металл қабатында белгілі бір таралуы бар металл бұйымдарын алуға бағытталған зерттеулер көбейіп келеді.

Дәл машина жасау, медицина, атом энергетикасы, авиация, ғарыш және әскери өнеркәсіп сияқты халық шаруашылығы мен өнеркәсіптің белгілі бір салаларында қалдық кернеулер мәселесі ең өзекті болып табылады. Өйткені, машина жасау кешенінің механизмдері, зымыран қозғалтқыштары, атом реакторлары немесе жасанды органдар сияқты жауапты мақсаттағы машиналар мен механизмдердің сенімділігі мен үздіксіз жұмысы әрқашан осындай объектілерде қолданылатын жабдықтар мен металл бұйымдарына қойылатын талаптар тізімінде бірінші орында тұрады.

Коррозияға төзімділік, беріктік, суық және ыстыққа төзімділік, соққыға төзімділік және ұзаққа созылатын беріктік, радиацияға төзімділік - осы және басқа да көптеген өнімділік сипаттамалары қалдық кернеулерге байланысты. Жаңа жоғары беріктігі бар металдар мен қорытпалар пайда болады, олар бұрыннан белгілі металдар мен қорытпаларға қарағанда әлдеқайда ауыр жүктемелерге төтеп бере алады. Бұл материалдар табиғи түрде ескірген аналогтарды есікестіреді, бірақ қалдық кернеулер мәселесі әрдайым туындайды, өйткені олардың деңгейі мен металдағы таралуын басқару металл бұйымдарының кез-келген қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыста келесі нәтижелер алынды:

1. Өнімнің өмірлік циклінің әртүрлі кезеңдеріндегі құрылымдық-технологиялық факторлардың және жүктеме тарихының беріктік сипаттамаларына әсерін ескере отырып, КДС және қалдық кернеулерді есептеу схемасы әзірленді, бұл әртүрлі технологиялық операциялар процесінде туындайтын кернеулердің таралу диаграммаларын алуға мүмкіндік береді (өтпелі екіпелермен қосылыстар алу, қорғаныс жабындарын иондық-плазмалық бүрку, металдарды қысыммен өңдеу процестері және т. б.).

2. Конструктивті факторларды ескере отырып, ауыспалы қондыру кезінде КДК есептеулері орындалды. t/d_k арақатынасы жоғарылаған сайын, сақинадағы салыстырмалы кернеулердің мәні төмендейтіні анықталды. Пластинада салыстырмалы кернеулер жоғарылайды $t/d_k = (0,15 \div 0,27)$ 8,6-дан 10,5% - ға дейін, содан кейін төмендеу байқалады.

3. Өтпелі қондырулармен қосылыстың кернеулі-деформацияланған жай-күйін есепке алу жүргізілді, қалдық кернеулерді азайту жөніндегі іс-шаралар әзірленді.

4. Критикалық кернеудің $\sigma_{кр}$ -геометриялық сипаттамаларға тәуелділігі әртүрлі жүктеме түрлеріндегі өтпелі қонулармен (бір осьтік созылу, таза сдысу, екі осьтік созылу) байланысты. T/D қатынасының жоғарылауымен анықталдық бір осьті созылу кезінде критикалық кернеудің 23,4% - ға дейін төмендеуі байқалады.

5. Тісті берілістер конструкциясындағы ҚҚС сандық және эксперименттік мәндеріне салыстырмалы талдау жасалды. Сәйкессіздік 5% - дан аспайтыны анықталды. Ұсынылған әдістеме бойынша вакуумды ионды-плазмалық бүрку үлгілеріндегі тербелістердің меншікті жиіліктерін, беріктік пен төзімділік шегін анықтау кезінде қолданыстағы эксперименттік әдістермен сәйкессіздік 6% -дан аспайтыны анықталды.

Осы саладағы үздік жетістіктермен салыстырғанда орындалған жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау

Әдеби дереккөздерге жүргізілген талдау, осы диссертацияда ұсынылған теориялық және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері диссертациялық жұмыс қазіргі ғылыми-техникалық деңгейге сәйкес келеді деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Алынған барлық нәтижелер әдеби мәліметтермен корреляцияға ие, белгілі деректерді толықтырады, материалдарды механикалық өңдеуден кейін өтпелі қонулардағы қалдық кернеулерді зерттеу және анықтау, қалдық кернеулердің өндірілген және пайдаланылатын механизмдер мен машиналардың сапасына әсері.

Ұсынылған диссертациялық жұмыстың ғылыми-әдістемелік деңгейі осы зерттеулердің кешенділігін көрсетеді, бұл ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін өндіріске енгізу актісімен, диссертациялардың нәтижесін оқу процесіне енгізу актісімен (А, Б қосымшалары) расталады.

Жоғарыда келтірілген нәтижелер дұрыс және ғылыми құндылық болып табылады, бұл автордың халықаралық рецензияланатын журналда, ҚР БСҒК ұсынған журналда жарияланымдарымен және халықаралық және шетелдік конференцияларда (В қосымшасы) нәтижелерді талқылауымен расталады

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Г. Н. Чернышев, А. Л. Попов, В. М. Козинцев Полезные и опасные остаточные напряжения // Природа. 2002. № 10. – С.56-62.
2. Новиков Н. Н. Теория термической обработки металлов М.: Металлургия, 1978. 392 с.
3. Кудрявцев И. В. Влияние остаточных напряжений на усталостную прочность стали М.: ВИНТИ, 1957. 17 с.
4. С. П. Буркин Анализ способов определения и устранения остаточных напряжений в трубных заготовках // Достижения в теории и практике трубного производства. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004. С. 87–97.
5. И. А. Соколов, В. И. Уральский. Остаточные напряжения и качество металлопродукции. М.: Металлургия, 1981. 96 с.
6. Гайдученко Б. И. Остаточные напряжения и усталость проволоки// Материалы научно-производственного семинара, М. : Черметинформация, 1967. С. 3–31.
7. Биргер И. А. Остаточные напряжения. М. : Маш- гиз, 1963. 232 с.
8. Давиденков Н. Н. Рентгенография в применении к исследованию материалов. М. : Изд. ОНТИ, 1963. 248 с.
9. Давиденков Н. Н. К вопросу о классификации и проявлении остаточных напряжений // Заводская лаборатория. 1959. № 3. С. 318–319.
10. Н. П. Щапов К вопросу о классификации и проявлению остаточных напряжений// Заводская лаборатория. 1959. № 10. С. 252–254.
11. Логинов, В. Е. Исследование остаточных напряжений жаропрочных и титановых сплавов при механической обработке // Обработываемость жаропрочных и титановых сплавов: сб. тр. Всесоюз. межвуз. конф. / Куйбышев. — 1962. С. 54 — 57.
12. Коттрел, А. Х. Теория дислокаций. М.: Мир, 1969.-96 с.
13. Немец Я. Жесткость и прочность стальных деталей. М. : Машиностроение, 1970. 528 с.
14. Макаров, А. Д. Оптимизация процессов резания. М.: машиностроение, 1976. — 280 с.
15. Остаточные напряжения: сборник статей / под ред. В. Р. Осгуда. М.: Иностранная литература, 1957. 260-271 с.
16. Берштейн М.Л. Диаграммы горячей деформации, структура и свойства сталей. М.: Металлургия, 1989. 544 с.
17. Косолапов Г. Ф. Рентгенография / Г. Ф. Косолапов. М. : Высшая школа, 1952. 332 с.
18. Новиков И. И. Теория пластической обработки металлов. М.: Металлургия, 1978. 392 с.
19. А.А. Поздеев, Ю.И. Няшин, П.В. Трусов Остаточные напряжения: теория и приложения– М.: Наука, 1982. – 112 с.
20. Коттрел, А. Х. Дислокация и пластическое течение в металлах. М.: Металлургиздат, 1958. — 356 с.
21. Вишняков Я.Д., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями

- в металлах и сплавах. М.: Металлургия, 1989. – 254 с.
22. Коновалов, Е. Г. Чистовая ротационная обработка поверхностей Минск: Выш. шк., 1968. - 364 с.
23. Коршунов, В. Я. Расчет глубины упрочнения и остаточных напряжений при поверхностном пластическом деформировании // СТИН. 1998. - № 12. - С. 24 - 27.
24. И. А. Биргер, Б. Ф. Шор, Г. Б. Иосилевич. Расчет на прочность деталей машин: справочник. М.: Машиностроение, 1993. 640 с.
25. Гуревич С. М. Справочник по сварке цветных металлов Киев: Наукова думка, 1981. 608 с.
26. Ткачев И. В. Остаточные напряжения в обечайках при различных способах гибки // Исследования в области пластичности и обработки металлов давлением. Тула: Тульский политехн. Ин-т, 1973. С. 170–176.
27. Н.А. Воронин, А.П. Семенов Вакуумные ионно-плазменные технологии упрочнения поверхно-стейдеталей машин. Москва: Наука. 1991. – 402 с.
28. Павлов И. М. Определение остаточных напряжений в композиционных материалах// Пластическая деформация нерядовых металлических материалов. М. : Наука, 1976. С. 60–68.
29. Б. А. Кравченко, Д. Д. Папшев, Б. И. Колесников, Н. И. Моренков Повышение выносливости и надежности деталей машин и механизмов. Куйбышев.: Куйбышевское книжное издательство, 1966. — 222с.
30. Кравченко, Б. А. Технологические остаточные напряжения и их влияние на эксплуатационные свойства деталей из жаропрочных и титановых сплавов: автореф. ... дисс. докт. техн. наук. КуПИ. -Куйбышев, 1973. - 20 с.
31. Бобылев А. В. Коррозионное растрескивание латуни М. : Metallurgizdat, 1956. 126 с.
32. Бобылев А. В. Растрескивание медных сплавов: справочник. М.: Металлургия, 1993. 352 с.
33. Бэкофен В. Процессы деформации. М: Металлургия, 1977. 288 с.
34. Madina Isametova, Rollan Nussipali, Dimitar Karaivanov, Zhastalap Abilikhair, Aysen Isametov Computational and Experimental Study of the Composite Material for the Centrifugal Pump Impellers Manufacturing. Journal of Applied and Computational Mechanics Shahid Chamran University of Ahvaz ISSN: 2383-4536 2022
35. Кобаско Н.И., Николин Б.Н., Драчинская А.Г. Повышение ресурса работы деталей машин и инструмента созданием в них высоких сжимающих напряжений // Известия ВУЗов. Сер. Машиностроение. – 1987. – № 10. – С. 153–157.
36. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. М.: Машиностроение, 1987.- 328 с.
37. Логинов, В. Е. К вопросу регулирования остаточных напряжений в поверхностном слое титановых сплавов // Труды МАИ. -М.-1961.-Вып. С. 140-80.

38. Справочная книга по отделочным операциям в машиностроении под ред. И. Г. Космачева. Лениздат, 1966. - 544 с.
39. Проскуряков Ю. Г., Миканадзе М. А. Эксплуатационные свойства свернутых втулок, обработанных дорнованием// Вестник машиностроения. 1983. № 7. -С. 44 - 46.
40. Макаров А. Д., Мухин В. С., Шустер Л. Ш Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов. Уфа: Башкирское книжное издательство, 1974. - 98 с.
41. Малинин, И. И. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1968. - 400 с.
42. Маталин, А. А. Причины возникновения остаточных напряжений. М.: Машгиз, 1954.-471 с.
43. Маталин, А. А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машгиз, 1956. - 252 с.
44. Маталин, А. А. Технология механической обработки. М.: Машиностроение, 1977. - 462 с.
45. Медведев Д. Д., Тотай А. В. Применение ЭВМ для установления режимов резания и норм времени при обработке заготовок из новых материалов, // Отчет по НИР. Брянск, 1974. - 151 с.
46. Нагаев, В. В. Теоретико-экспериментальное исследование напряженного состояния поверхностного слоя деталей, обработанных резанием: Автореф. дисс. канд. техн. наук Иркутск, 1972. - 24 с.
47. Жернаков В. С., Мардимасова Т. Н., Акбашев В.Р. Исследование напряженно-деформированного состояния соединения «пластина-кольцо» при формировании соединения и одноосном нагружении// Вестник УГАТУ. 2015. Т19, № 2 (68). С. 14–19.
48. Папшев, Д. Д. Отдел очно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 1978. - 158 с.
49. Павлов, В.Ф. и др. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочненных деталей по остаточным напряжениям: моногр. Самара: «Издательство СНЦ РАН», 2012. – 125 с.
50. Полетика, М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М.: Машиностроение, 1969. - 150 с.
51. Полетика, М. Ф. Напряжения и температура на передней поверхности резца при высоких скоростях резания // Вестник машиностроения. 1973. № 10. С. 16-80.
52. Проскуряков Ю. Г., Позднякова И. В. Остаточные напряжения в деталях, обработанных дорнованием// сб. статей. Челябинск. - 1962. -С. 142 -150.
53. Севастьянов, В. Я. Наклеп и остаточные напряжения при резании металлов: Автореф. дисс. канд. техн. наук МАТИ, 1961. -24 с.
54. Красильников Л. А., В. Я. Зубов Релаксационная стойкость и циклическая прочность холоднотянутой проволоки. М.: Металлургия, 1973. 264 с.
55. Мендебаев Т.М., Турдалиев А.Т., Абілқайыр Ж.Н., Қасенов Ж.М. Расчет на прочность сцепления переходной посадки и посадки с натягом соединения

- вал-кольцо. Промышленный транспорт Казахстана 2019 № 2. С 32-36
56. Развитие науки о резании металлов под ред. Н. Н. Зорева, Г. И. Грановского, М. Н. Ларина, Т. Н. Лоладзе, И. П. Третьякова. Машиностроение, 1967. -413 с.
57. Резников, А. Н. Теплофизика резания. М.: Машгиз, 1960.- 152 с.
58. Резников, А. Н. Теплообмен при резании и охлаждении инструментов. М.: Машгиз, 1963. - 200 с.
59. Розенберг А. М., Розенберг О. А., Гриценко Э. И., Посвятенко Э. К. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием. Киев.: Наукова Думка, 1977. - 287 с.
60. Розенберг, А. М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. Киев.: Наукова Думка, 1990. - 320 с.
61. Иванов А.С., Воронцов А. В., Терехин С.А. Расчет соединения с натягом на не-сдвигаемость с учетом контактной жесткости сопрягаемых поверхностей // Вестник машиностроения. 2003. - № 2. - С. 19 - 22.
62. Габдуллина А.З. Разработка стабилизирующей технологии изготовления деталей путем оценки состояния инструментов на многоцелевых станках: дисс. ... канд. техн. наук; 05.03.01. – Алматы 2007. стр- 170
63. Силин, С. С. Методика назначения режимов резания при многоинструментальной обработке на станках с 411У в условиях ГАП // Оптимизация операций механической обработки Ярославль, 1986. С. 5-10.
64. Силин, С. С. Расчет максимальной температуры в поверхностном слое детали при точении // Физика и химия обработки материалов. 1974. № 1. С. 15-20.
65. Силин, С. С. Исследование влияния режимов резания на качество поверхностного слоя при точении и шлифовании // Сборник трудов РАТИ. Ярославль, 1975. - № 3. - С. 34 - 47.
66. Сулима А. М., Евстигнеев М. И. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей ГТД. М.: Машиностроение, 1988.-240 с.
67. Технологические остаточные напряжения. Под ред. А. В. Подзая. М.: Машиностроение, 1973. - 267 с.
68. Тимофеев, В. Н. Остаточные напряжения, возникающие в поверхностном слое стали, при точении // Вестник машиностроения. 1951. — № 12. - С. 5-9.
69. Смелянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. Москва: Машиностроение, 2002. 300 с.
70. Третьяков, И. П. Количественные характеристики напряженного и деформированного состояния в зоне резания// Вестник машиностроения. 1971. - № 4. - С. 35 -47 с.
71. Шарова, Т. Д. Разработка теоретического метода определения остаточных напряжений при точении сталей и сплавов с учетом температурного и силового факторов: автореферат канд. техн. наук диссертации. Уфа. - 1976. - 24 с.
72. Силин, С. С. Метод подобия при резании материалов. Москва.: Машиностроение, 1979. — 152 с.

73. Синельникова, Г. Б. Исследование влияния условий выполнения технологического процесса на формирование поверхностного слоя детали: Автореф. дисс. . канд. техн. наук ЛИИ, 1970. — 24 с.
74. Шнейдер, Ю. Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением. Л.: Машиностроение, 1971. - 246 с.
75. Шнейдер, Ю. Г. Технология финишной обработки давлением: Справочник. СПб.: Политехника, 1998. - 414 с.
76. Воронин, Н.А. Вакуумные ионно-плазменные технологии упрочнения поверхностей деталей машин. Москва: Наука. 1991. – 402 с.
77. Абрамов И.В., Абрамов А.И., Сеницын А.Н., Сеницына В.В. Напряженно-деформированное состояние деталей соединения под действием изгибающего момента. // Вестник машиностроения, 2010г. №8, С. 18-21.
78. Технологические остаточные напряжения / Под.ред. А.В. Подзая. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
79. Доронин С.В. и др. Моделирование прочности и разрушения несущих конструкций технических систем/– Новосибирск: Наука, 2005. – 250 с.
80. Мавлютов, Р.Р. Концентрация напряжений в элементах конструкций. Москва: Наука, 1996. – 240 с.
81. Андреев, Г. Я. Расчет теплового режима при сборке соединений с натягом // Вестник машиностроения. 1974. - № 7. - С. 21-34.
82. Абілқайыр Ж.Н., Мухамадиева К.К., Нургожаев Н.Д., Маканалина Ж.М. Влияние обработки поверхностно-пластическим деформированием на остаточные напряжения поверхностного литейного диска Труды международной научно-практической конференции "Современное материаловедение: опыт, проблемы и перспективы развития" – Алматы: Изд-во КазНТУ 2015. С. 167-170.
83. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. – 392 с.
84. Нихамкин, М.Ш. Влияние объемных остаточных напряжений на усталостную прочность и трещиностойкость лопаток ГТД// Вестник ПГТУ. Аэрокосмическая техника №24. -2006. - С. 5-11.
85. Демин Ф.И., Проничев Н.Д., Шитарев И.А. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: учебное пособие – Москва: Машиностроение, 2002. – 328 с.
86. Проскуряков, Ю. Г. Упрочняюще-калибрующие методы обработки. М.: Машиностроение, 1965. — 208 с.
87. Рапацкий, Ю. Л. Исследование механосборочного производства с применением методов экспертных оценок и анализа// Автоматизация и измерения в машино- приборостроении. – 2020. – № 2(10). – С. 51-67.
88. Барвинок, В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
89. Иванов, С.И. Влияние остаточных напряжений на выносливость ненаклепанного материала // Вопросы прикладной механики в авиационной технике. – Куйбышев: КуАИ, 1973. – Вып. 66. – С.70 – 73.
90. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и

- электронными пучками / под ред. Д. Поута. – М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.
91. Абілқайыр Ж.Н., Ажрен М.Б., Кежеғұл Н.Т. Электроэрозионная обработка материалов. Материалы международной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVI Сатпаевские чтения» Том 26. Павлодар 2016, 132-137стр.
92. Рудницкий, И.М. К оценке влияния остаточных напряжений и упрочнения поверхностного слоя на усталостную прочность деталей// Проблемы прочности, 1981. – № 10. – С. 27 – 33.
93. Erlan Askarov, Algazy Zhauyt, Zhastalap Abilkaiyr, Adilet Zhankeldi, Batyr Naurushev NEW TYPE CAM-SCREW MECHANICAL PRESS ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT Jelgava, 24.-26.05.2017 p. 36-41
94. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч./ В.Д. Мягков, М.А. Палей. – 6 изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отдние, 1982.
95. Rustem Kozbagarov, Timur Chigambaev, Talgat Agimov, Zhastalap Abilkaiyr Batyrkhan Kyrykbaev and Algazy Zhauyt Development of Technologies for Cooling Strips of Steel 60C2XA on a Retractable Roller Conveyor. Journal of Engineering and Applied Sciences 14 (16): 5840-5846, 2019 ISSN: 1816-949X © Medwell Journals, 2019
96. Абілқайыр Ж.Н., Мухамадиева К.К., Нургожаев Н.Д. Влияние режимов точения на шероховатость поверхности литейного диска Труды международной научно-практической конференции "Современное материаловедение: опыт, проблемы и перспективы развития" – Алматы: Изд-во КазНТУ 2015. С. 164-166.
97. Вишняков М. А. Применение термомеханического упрочнения для повышения характеристик качества поверхности высоко нагруженных деталей// Инженерный журнал. 2002. № 12. С. 15–18.
98. Абілқайыр Ж.Н., Жанабаев Э.Е., Манасов М.С. Исследование системы ветровых энергетических установок. Международных Сатпаевских чтений «Конкурентноспособность технической науки и образования» Том1. Алматы 2016. С. 137-141.
99. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов. В 2 частях. М.: Машиностроение, 1ч., 1974. – 472 с.
78. Елисеев В.В. Механика твердого деформируемого тела. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 231 с
100. Турдалиев А.Т., Абілқайыр Ж., Асемханулы А., Ниязова Ж.К. Теоретические основы надежности механических систем транспортных машин // Промышленный транспорт Казахстана 2019 № 3. С 190-193.
101. А.Т.Қанабекова, Т.А. Альпеисов, Д. Р. Кулсугурова , Ж. Абилқайыр Сандық бағдарламалық басқаруы бар станоктарда біліктердің механикалық өңдеуінің тиімділігін зерттеу және талдау. // Международных Сатпаевских чтений 2022. б. 1000-1003.
- 102.
103. Спицин В. И., Троцкий О. А. Электропластическая деформация металлов. М. : Наука, 1985. 160 с.

104. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. – М.: Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.
105. Огородникова О.М. Конструкционный анализ в среде ANSYS: учеб.пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004. –68 с.
106. Силин, С. С. Суммарные остаточные напряжения при тчении от действия температурного и силового напряженных полей// сб. трудов №5. РАТИ. 1976. - С. 6-18.
107. Лесняк, С. В. Технологические расчеты размеров заготовок свернутых втулок под ротационное дорнование Текст. / С. В. Лесняк, А. Н. Исаев. Ростов-на-Дону: РГАСХМ, 1998. - С. 55 - 56.

ҚОСЫМША А

Акт внедрения в производство

Утверждаю
Гл. инженер ТОО «Алматинский
завод Электроцит»
Дюсебаев И.М.
« » 2022г.



АКТ

внедрения результатов НИР Абілқайыр Ж.Н. по теме докторской диссертационной работы (PhD) «Исследование влияния остаточных напряжений возникающих после механической обработки на прочность переходных посадок»

Мы, представители Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева, заведующий кафедрой «Машиностроение», доктор PhD, ассоциированный профессор Нұғман Е.З., докторант Абілқайыр Ж.Н., с одной стороны и представители ТОО «Алматинский завод Электроцит» главный инженер Дюсебаев И.М., главный конструктор Пушкарук А.В. рассмотрели материалы диссертационной работы Абілқайыр Ж.Н., выполненной на тему «Исследование влияния остаточных напряжений возникающих после механической обработки на прочность переходных посадок». Абілқайыр Ж.Н. предоставил полную информацию о проделанной научно-исследовательской работе по теме диссертации, информацию о полученных некоторых особенностях в технологии изготовления некоторых деталей машин и механизмов.

Результаты НИР могут быть использованы при проектировании и изготовлении деталей многоступенчатых сложных крупногабаритных цилиндрических редукторов и механизмов, изменении технологии изготовления некоторых деталей редукторов сложной конфигурации с целью снижения остаточных напряжений после механической обработки в переходных посадках сопряжений.

от КазНТУ
имени К.И.Сатпаева
Заведующий кафедрой
«Машиностроение»
Нұғман Е.З.

Научный руководитель
Турдалиев А.Т.

Докторант
Абілқайыр Ж.Н.

от ТОО «Алматинский завод
Электроцит»

Дюсебаев И.М.

Пушкарук А.В.

ҚОСЫМША Ә

Акт внедрения в производство



Утверждаю
Директор ТОО «Жакен Калша»
Азимбеков М.К.
« _____ » _____ 2022г.

АКТ

внедрения результатов НИР Абілқайыр Ж.Н. по теме докторской диссертационной работы (PhD) «Исследование влияния остаточных напряжений возникающих после механической обработки на прочность переходных посадок»

Мы представители Казахского университета путей сообщения, ректор-проректор по учебной работе, доктор технических наук, профессор Турдалиев А.Т., докторант Абілқайыр Ж.Н., с одной стороны и представители ТОО «Жакен Калша» директор Азимбеков М.К., главный конструктор Енсепов Д.Е. рассмотрели материалы диссертационной работы Абілқайыр Ж.Н., выполненной на тему «Исследование влияния остаточных напряжений возникающих после механической обработки на прочность переходных посадок». Абілқайыр Ж.Н. предоставил полную информацию о проделанной научно-исследовательской работе по теме диссертации.

Результаты НИР могут быть использованы при проектировании и изготовлении деталей многоступенчатых сложных крупногабаритных цилиндрических редукторов и механизмов.

от Казахского университета
путей сообщения

Турдалиев А.Т. 

Докторант

Абілқайыр Ж.Н. 

от ТОО «Жакен Калша»
директор

Азимбеков М.К. 

главный конструктор

Енсепов Д.Е. 

ҚОСЫМША Б



«Утверждаю»
Президент КУПС
Омаров А.Д.
« » 2022г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ (ИСПОЛЬЗОВАНИЯ)

результатов диссертационной работы «Исследование влияния остаточных напряжений возникающих после механической обработки на прочность переходных посадок» докторанта специальности 6D071200 – Машиностроение Абілқайыр Жасталап Наурызғали

Результаты диссертационной работы «Исследование влияния остаточных напряжений возникающих после механической обработки на прочность переходных посадок» внедрены в учебный процесс для подготовки обучающихся бакалавриата по специальности «Машиностроение» в виде лекционных, практических и лабораторных материалов по следующим дисциплинам:

- Основы взаимозаменяемости;
- Теория резания;
- Проектирование металлорежущих инструментов;
- Технология производства машин;
- Основы технологии машиностроения;
- Технологические процессы машиностроительного производства;
- Технологические методы восстановления и повышение износостойкости детали машин.

Результаты диссертационной работы «Исследование влияния остаточных напряжений возникающих после механической обработки на прочность переходных посадок» также применяются при проведении научно-исследовательских работ обучающихся.

Заведующий кафедрой

«ГТМиС»

Сериккулова А.Т.

Научный руководитель

Турдалиев А.Т.

Докторант

Абілқайыр Ж.Н.