

**Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясы
МАШИНА ТААНУУ ИНСТИТУТУ**

**Кыргыз Республикасынын билим берүү жана илим министрлиги
И. Раззаков ат. КЫРГЫЗ МАМЛЕКЕТТИК ТЕХНИКАЛЫК
УНИВЕРСИТЕТИ**

Д 05.16.523 диссертациялык кеңеши

Кол жазма укугунда

УДК 621.73.01

Нурахметова Кульзира Кумаргалиевна

**ТИТАН ЭРИТМЕЛЕРИНЕН ОККО СИММЕТРИЯЛУУ
КАНДАЛГАН БӨЛҮКТӨРДҮ ЫСЫКТА ШТАМПТОО
ПРОЦЕССИН МОДЕЛДӨӨНҮ ИШТЕП ЧЫГУУ**

05.02.08 –«Машина куруу технологиясы»

Техника илимдеринин кандидаты илимий
даражасын изденип алууга жазылган диссертациянын
авторефераты

Бишкек- 2017

Илимий иш **И.Раззаков** атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинде (КМТУ) аткарылды.

Илимий жетекчиси

техникалык илимдердин доктору,
профессор **Машеков Серик Акимович**

Расмий оппоненттер:

техникалык илимдердин доктору,
доцент **Абсадыков Бахыт Нарикбаевич**

техникалык илимдердин доктору,
доцент **Рагрин Николай Алексеевич**

Жетектөөчү уюм:

Казак улуттук агрардык университети
(Алматы ш. Абай проспекти, 8)

Диссертация «12» майда 2017 жылы саат 14.00 Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Машина таануу институтунун, И.Раззаков ат. Кыргыз мамлекеттик университетинин алдындагы Д.05.16.523 диссертациялык кеңешинин отурумунда корголот.

Дареги: 720055, Бишкек ш., Скрябин ат. көчө, 23.

Диссертация менен Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын китепканасында жана <http://imash.kg/index.php/soiskatel-nurakhmetova-kulzira-nurakhmetova> сайтында таанышса болот.

Авторефератка отзывды кол коюлуп, герб менен мөөр басылып, эки нускада 720055, Бишкек ш., Скрябин ат. көчө, 23, КРнын УИАнын Машина таануу институту, Д.05.16.523 диссертациялык кеңеш же e-mail: imash.dissovet@gmail.com -дареги боюнча жөнөтүүнү суранабыз.

Автореферат «10» апрелде 2017 ж. жөнөтүлдү.

Д.05.16.523 диссертациялык
кеңештин окумуштуу катчысы
Т.И.К., Ж.И.К.



Квитко С.И.

ИЛИМИЙ ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Изилдөөнүн темасынын актуалдуулугу. Азыркы учурда колдонулуп жаткан титан эритмесинен кандалып жасалган майда дандуу структурадагы бөлүктөрдү даярдоо технологиясы аз өндүрүмдүүлүгү, көп жумуштуулугу жана көп материалдык чыгымдары менен мүнөздөлөт. Бардык кесилиши боюнча майда дандуу кандалып жасалган бөлүктөрдү алуу үчүн аны жогорку температурада жана полиморфдук айлануу ($T_{па}$) температурасынан төмөн температурада көп жолу чөгөрүү жана чоюп тартуу (же ар тарабынан кандоо (АТК)) колдонулат. Бул учурда деформация даражасы ($\alpha+\beta$)-областында ($T_{па}$ дан төмөн) 25% дан ашпайт, ал эми β - областында ($T_{па}$ дан жогору) - 40%. Титан эритмелеринен майда дандуу структурадагы бөлүктөрдү даярдоодо андан ары иштетүү үчүн негизинен жайпак ургулар колдонулат.

Кандалган бөлүктөрдүн материалдарынын касиеттеринин деңгээлине жана алардын анизотропиясына таасир кылган негизги терс фактор болуп, алдын ала көп жолу чөгөрүү жана чоюп тартуу болгон технология боюнча штампталып даярдалган бөлүктөрдүн ар түрдүү жактарындагы жылышуу деформациянын даражасынын бир калыпта эместиги эсептелет.

Ошентип, титан эритмелеринен кандалган бөлүктөрдү майдалап кандоодо жана штамптоодо жыйналган деформациянын, структуранын жана касиеттеринин түзүлүүсүн, титан эритмелеринин структуралык жаралышынын моделдерин жаңылоо чоң илимий жана практикалык мааниге ээ. Бул изилдөөлөрдүн жыйынтыктарын колдонуу, жаңы технологиялык режимдерди жаратуу усталык-штамптоо өндүрүшү үчүн актуалдуу маселе болуп эсептелет.

Илимий иш мамлекеттик бюджет темасынын алкагында К.И. Сатпаев ат. Казак улуттук техникалык изилдөө университетинин координациялык планына ылайык аткарылды.

Изилдөөнүн максаты жана маселеси. Илимий иштин максаты болуп окко симметриялуу майда дандуу структурасы менен кандалган бөлүктөрдүн технологиясын ысыкта кандоо жана көлөмдүү штамптоо процесстерин моделдөөнүн ыкмаларын жаратуу жолу менен иштеп чыгуу эсептелет.

Көрсөтүлгөн максатты ишке ашырууда төмөндөгүдөй маселелер коюлду:

– Диск түрүндөгү кандалган бөлүктөрдү өзгөрүлмө формадагы инструментте штамптоодо чыңалыш-деформация абалынын (ЧДА) бөлүштүрүлүп таралышынын мыйзам ченемдүүлүгүн окуп үйрөнүү;

- режимдердин вариациясынын эсебинен титан эритмелеринен жасалган кандалган бөлүктөрдүн сапатын жакшыртууну камсыздаган жаңы технологияны иштеп чыгуу;

- титан эритмелеринен жасалган кандалган окко симметриялуу бөлүктөрдүн структурасынын жана негизги механикалык касиеттеринин жаралып түзүлүшүнүн негизги мыйзам ченемдүүлүктөрүн изилдөө;

- титан эритмелеринен жасалган кандалган бөлүктөрдүн дандарынын өлчөмдөрүн эсептөө ыкмаларын ысыкта ар тараптан кандоо жана штамптоо шартында жакшыртуу;

- титан эритмелеринен жасалган кандалган окко симметриялуу бөлүктөрдүн ысыкта ар тараптан кандоо жана штамптоо процесстеринин моделдөөнүн ыкмаларын жакшыртуу;

- майда дандуу окко симметриялуу кандалган бөлүктөрдү жогорку даражадагы механикалык касиеттери менен алуу режимдерин иштеп чыгуу;

«MSC.SuperForge» программалык комплексин колдонуу менен ысыкта штамптоо процессин компьютердик моделдөөнү ишке ашыруу.

Коргоого алынып чыккан диссертациянын негизги жоболору:

1. Титан эритмелеринен кандалып жасалган диск жана калакча түрүндөгү бөлүктөрдү ар түрдүү формадагы ургуларда айкалыштырган кайрадан иштетүүнүн б.а. оңдоп түзөөнүн жана штамптоонун жыйналган деформациянын бөлүштүрүлүшүнө жана титан эритмесинин структураларынын түзүлүүсүнө тийгизген таасиринин мүнөзү аныкталды.

2. Даярдалган бөлүктүн отургузула турган бөлүгүндөгү жыйналган деформациянын бир калыпта таралышына жана штамптоонун энергия жана күч параметрлерин төмөндөтүүгө өбөлгө түзгөн ЧДАнын жана температуранын бөлүштүрүлүп таралышынын мыйзам ченемдүүлүктөрү өзгөрүлмө формадагы конструкциясы боюнча жаңы инструментте штамптоодо айкындалды.

3. Титан эритмелеринен диск жана калакча түрүндөгү кандалып жасалган бөлүктөрдү өндүрүүгө мүмкүндүк берген, титан эритмесинин дандарынын чондуктарынын кандоонун жана штамптоонун негизги технологиялык параметрлеринен көз карандылыгы аныкталды.

4. Кайрадан жасап түзөөнүн ар кандай этаптарында даярдалган бөлүктөрдүн ЧДАын изилдеп окуганга мүмкүндүк берген, титан эритмелеринен окко симметриялуу кандалган бөлүктөрдү ысыкта штамптоо процессин моделдөөнүн усулдары “MSC.SuperForge” программалык комплексин колдонуу менен иштелип чыкты.

5. Механикалык касиеттерин жогорулатуунун структуралык принциптерин колдонуу менен, “калакча” түрүндөгү кандалган бөлүктөрдү даярдоонун технологиялык төрт режими иштелип чыкты.

Алынган жыйынтыктардын илимий жаңылыгы:

- кандалган бөлүктөрдү ар кандай формадагы ургуларда жаңы айкалышкан оңдоп түзөөдө жана штамптоодо, белгилүү технологиялардан айырмаланып, жыйналган деформация иштетүүгө даярдалган кандалган бөлүктүн кесилиши боюнча бир калыпта бөлүштүрүлөөрү жана майда дандуу структураны камсыздай тургандыгы көрсөтүлдү;

- кандалган бөлүктөрдү конструкциясы боюнча жаңы, өзгөрүлмө формасы менен инструментте штамптоо процесси үчүн даярдалган бөлүктүн чөгөрүлгөн бөлүгүндө жыйналган деформациянын бир калыпта бөлүштүрүлүп таралышына жана оңдоп түзөөгө кеткен күчтү азайтууга мүмкүнчүлүк түзгөн ЧДАнын жана температуранын таралышынын мыйзам ченемдүүлүктөрү изилденди:

- диск жана калакча түрүндөгү кандалган бөлүктөр үчүн BT6 титан эритмесинин данынын чоңдугу менен кандоонун жана штамптоонун технологиялык параметрлеринин ортосундагы өз ара байланышы аныкталды;

- титан эритмелеринин окко симметриялуу кандалган бөлүктөрүн ысыкта штамптоо процессин моделдөөнүн усулдук көрсөтмөлөрү жаңы бирге айкалышкан кандоо жана ысыкта штамптоо процесстерин моделдөө үчүн иштелип чыкты;

- биринчи жолу титан эритмелеринин кандалган бөлүктөрүнүн механикалык касиеттерин жогорулатуу, оңдоп түзөөнүн айкалышкан ыкмаларын колдонуу менен майда дандуу структураны алууга негизделген, даярдоонун төрт технологиялык процесстеринде ишке ашкан, принциптери сунушталды.

Алынган жыйынтыктардын практикалык баалуулугу:

- жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн жыйынтыгында титандан кандалган бөлүктөрдү оңдоп түзөөнүн технологиялык режимдери алардын майда дандуу, дандын өлчөмү 0,21 – 0,43 мкм, структурасын алуу үчүн жаңыланды;

- талап кылынган формадагы, кемтиктердин саны аз болгон жана механикалык касиеттери туруктуу болушуна өбөлгө түзгөн титан эритмелеринин окко симметриялуу кандалган бөлүктөрүн өзгөрүлмө формасы менен, жаңы конструкциядагы инструментте оңдоп түзөө режимдери боюнча сунуштар иштелип чыкты.

- BT6 титан эритмесинен татаал формадагы буюмдарды алуу үчүн, алардын механикалык касиеттерин жогорулатуу максатында,

ультра майда дандуу (УМД) даярдык бөлүктөрдү штамптоо ыкмаларынын рационалдуу температуралык-деформациялык режимдери иштелип чыкты.

– ВТ6 эритмесинде жогорку механикалык касиеттерге жетүүнү жана даярдоонун иш сыйымдуулугун төмөндөтүүнү камсыздаган, титан эритмелеринин окко симметриялуу кандалган бөлүктөрүн оңдоп түзөөнүн сунушталган төрт режиминин негизинде “калакча” түрүндөгү кандалган бөлүктү даярдоонун айкалышкан технологиясы иштелип чыкты.

И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин жана К.И. Сатпаев атындагы Казак улуттук техникалык изилдөө университетинин лабораторияларынын жабдыктарында жасалган эксперименттик изилдөөлөрдүн жыйынтыктары титан эритмелеринин кандалган бөлүктөрүн даярдоого кызыккан ишканаларга берилди.

Алынган жыйынтыктардын экономикалык жактан баалуулугу: титан эритмелеринен дисктерди даярдоонун сунушталган ыкмалары кандалган бөлүктөрдүн сапатын жогорулатууга мүмкүндүк түзөт, мында иш сыйымдуулугу 20 – 25% төмөндөп, анын сапатына кепилдик берүү менен өндүрүштү өздөштүрүүгө кеткен чыгымдарды 2 – 3 эсе төмөндөтүүгө жол берет.

Изденүүчүнүн өздүк салымы. Диссертацияда жазылган негизги теориялык жана практикалык жыйынтыктар, автор тарабынан жекече алынды, булактарда болгон маалыматтарды колдонуу менен алынган жыйынтык маалыматтарына өз алдынча анализ жүргүзүлдү.

Диссертациянын жыйынтыктарынын апробациясы. Диссертациялык иштин материалдары эл аралык илимий-техникалык конференцияларда: “Жаштар инновациялык изилдөөлөрдө” (Бишкек ш., 2015), “Заманбап илимий-практикалык жетишкендиктер” (Кемеров ш., 2015) эл аралык илимий-техникалык конференциясында докладдары окулду жана талкууланды.

Басылып чыккан илимий эмгектерде диссертациянын жыйынтыктарынын чагылышынын толуктуулугу. Диссертациянын негизги жыйынтыктары 12 илимий эмгектерде, анын ичинде Scopus илимий басмаларынын индекстелген базасына кирген эл аралык журналдарда 4 макала, жана КР ЖАК сунуштаган журналдарда 6 макала жарык көрдү.

Диссертациянын структурасы жана көлөмү. Диссертация кириш сөздөн, төрт бөлүмдөн, корутундудан, саны 186 болгон колдонулган библиографиялык булактардан, жана 1 тиркемеден турат.

Диссертациянын жалпы көлөмү 150 барак, анын ичинде 3 таблица, 78 сүрөт бар.

ИЛИМИЙ ИШТИН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

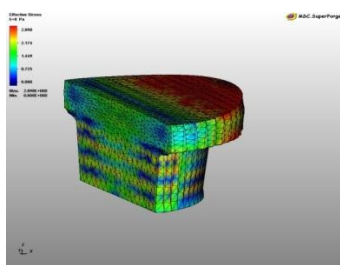
Кириш сөздө теманын актуалдуулугу жана жаңылыгы көрсөтүлүп, изилдөөнүн максаты жана маселелери аныкталып, коргоого алынып чыккан негизги жоболор сунушталган.

Биринчи бөлүмдө болотту жана эритмелерди кандоо жана штамптоо менен байланышкан изилдөөлөргө арналган илимий эмгектердин сереби аткарылган. Келтирилген илимий булактардын серебинде, азыркы кезде көптөгөн изилдөөлөр кандоо жана штамптоонун жаңы ыкмаларын жаратууга жана инструменттерди конструкциялоого багытталып жүргүзүлүп жаткандыгы көрүнөт. Бирок, көптөгөн инструменттер кенен колдонууну тапкан жок. Мунун көп себептери бар, алардын кээ бирлери, көптөгөн инструменттерди даярдоонун татаалдыгы, аларды жабдыктарга орнотуунун оордугу, даярдоого кеткен чыгымдардын көптүгү ж.б.

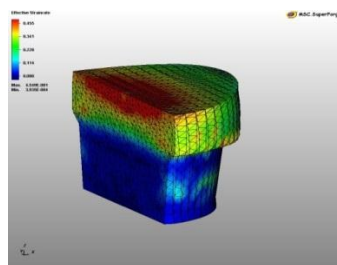
Экинчи бөлүмдө, «MSC.SuperForge» программалык комплексин колдонуу менен, жумуш бетинин өзгөрүлмө формасы (ЖБӨФ) менен калыпта (штампта) тегерек даярдык бөлүктүн ысыкта чөгөрүү процессин компьютердик моделдөө аткарылды. Изилденип жаткан процессти моделдөө төмөнкүдөй түрдө ишке ашты: баштапкы даярдык бөлүктүн жана инструменттин геометриялык моделдери жаратылды; чектүү элементтердин торчосу даярдык бөлүккө коюлду; даярдык бөлүктүн реологиялык касиеттери берилди; баштапкы температуранын мааниси жана сүрүлүүнүн коэффициенти берилди; жетишээрлик тактыкта ЧДАнын эсептөөлөрү жүргүзүлдү.

Штамптоо ЖБӨФ менен калыпта төмөнкүдөй жүргүзүлдү: баштапкы даярдык бөлүктү төмөнкү калып – штамп менен жогорку ийри сызыктуу-томпок элементи бар штамптын ортосуна жайгаштырат. Жогорку штамп төмөн көздөй кыймылдаганда даярдык бөлүктүн пластикалык деформациясы жана жогорку штамптын ийри сызыктуу элементинин ийкемдүү деформациясы пайда болот. Ийри сызыктуу элементтин ийилүүсү энергия жана күчтүн параметрлерин аз чыгымдоо менен штамптоону ишке ашырууга өбөлгө түзөт. Сандык эсептөөлөрдүн жыйынтыктарын колдонуу менен: ЖБӨФ менен штампта чөгөрүүнүн баштапкы мезгилинде чыңалуунун жана деформациянын максималдуу интенсивдүүлүгү (Ч жана ДМИ) чоңдугу боюнча штамп менен даярдык бөлүктүн тийишкен зоналарында топтолот. Ч жана ДМИ,

локализациясы менен зонанын бирдиктүү кысылышынын жогорулашы менен тийишкен беттен чөгөрүлгөн даярдык бөлүктүн периферия зоналарын көздөй жылат (1-сүрөт). Даярдык бөлүктү чөгөрүү убагында ЖБӨФ менен штампта деформация ылдамдыгынын интенсивдүүлүгү даярдык бөлүк менен инструменттин тийишүү зонасында чогулат; штамптоо процессинде Ч жана ДМИ максималдуу чондуктагы катмарларда температура жогорулайт; ЖБӨФ менен инструментте штамптоодо деформация даярдык бөлүктүн көлөмү боюнча бир калыпта таралат; ЖБӨФ менен инструментте штамптоо күчү жалпак инструментте чөгөрүүгө караганда кичине, аз болот.



a



б

1-сүрөт - Өзгөрүлмө формадагы инструментте $t = 750^{\circ}\text{C}$ температурада чөгөргөндө даярдык бөлүктө чыңалуунун (а) жана деформациянын (б) интенсивдүүлүгүнүн таралышынын сүрөтү

Үчүнчү бөлүмдө “калачка” түрүндөгү сапаттуу кандалган бөлүктөрдү чыгаруу үчүн төмөнкү айкалышып бириккен төрт технология сунушталат:

биринчи технология: ысытуу, жайпак жана айкалышкан ургуларда $850-630^{\circ}\text{C}$ температура интервалында чоюп тартуу, ЖБӨФ менен инструментте $850-630^{\circ}\text{C}$ температурада бекитилген бөлүктүн чөгөрүү жана изотермикалык (ИЗШ) 650°C температурада штамптоо.

экинчи технология: ысытуу, $950-1000^{\circ}\text{C}$ температура интервалында жылма үбөлүктөр менен жукартуу, томпок ургуларда $750-800^{\circ}\text{C}$ температура интервалында чөгөрүү жана изотермикалык (ИЗШ) 650°C температурада штамптоо.

үчүнчү технология: $630-850^{\circ}\text{C}$ температурада даярдык бөлүктү ысытуу, жайпак ургуларда жана радиалдуу-кандоочу машинада (РКМ) чоюп тартуу, $750-800^{\circ}\text{C}$ температурада томпок бойкаларда чөгөрүү жана изотермикалык (ИЗШ) $750-800^{\circ}\text{C}$ температурада штамптоо.

төртүнчү технология:

а) куйманы $T_{\text{пп}}$ эрүү температурасынан жогору температурага чейин ысытуу жана жайпак ургуларда $S = l/D = 0,8$ салыштырмалуу берүү менен (мында l – деформация очогунун узундугу, D – даярдык бөлүктүн диаметри) тегерек-тегерек схемасы боюнча 840 мм диаметрден 500 мм диаметрге чейин чоюп тартуу;

б) даярдык бөлүктү $T_{\text{пп}}$ температурасынан төмөн температурага чейин ысытуу жана (жогорудагысы – жайпак, төмөндөгүсү – кесилип алынган) айкалышкан ургуларда $S = 0,6$ салыштырмалуу берүүсү менен тегерек-тегерек схемасы боюнча 500 мм диаметрден 400 мм диаметрге чейин чоюп тартуу;

в) $T_{\text{пп}}$ температурасынан жогору температурада күйгүзүү;

г) $T_{\text{пп}}$ температурасынан төмөн температурага чейин арадагы даярдык бөлүктү ысытуу жана тегерек-тегерек схемасы боюнча 400 мм диаметрден 135 мм диаметрге чейин GFM фирмасынын радиалдуу-кандоочу машинасында (РКМ) чоюп тартуу;

д) өлчөөчү (чендик) даярдык бөлүктүн зымынан кесиндини кесип алуу, аны тиешелүү узундукта жана диаметрде жонуу, кемтиктердин жоктугун ультра үндүү текшерүү;

е) $T_{\text{пп}}$ температурасынан төмөн температурага чейин арадагы даярдык бөлүктү ысытуу жана чендик даярдык бөлүктү тепкичтүү профилде РКМда кандоо;

ж) тепкичтүү даярдык бөлүктүн бир бөлүгүн өзгөрүлмө формадагы инструментте гидравликалык пресстин (ГП) астында 10 МН күч жумшоо менен чөгөрүү;

з) зымдан даярдык бөлүктү шаботу жок балкада бырыштырып басуу;

и) арадагы даярдык бөлүктү ГПте 10 МН күч жумшоо менен буроо;

к) арадагы даярдык бөлүктү шаботу жок балкада акыркы жолу штамптоо жана так өлчөмдөгү турбиналар үчүн калактарды жасап алуу;

Биргелешкен процесстердин ЧДАнын эсептөөлөрүнө MSC.Super Forge атайын стандарттык программасы колдонулду.

Титан эритмелеринен даярдык бөлүктөрдүн бузулушунун шарттары, б.а. пластиканын ресурстарын колдонуу даражасы (ПРКД), төмөндөгү формула менен эсептелет:

$$\psi = \int_0^l \frac{H(\tau) d\tau}{\Lambda_p [k_{\text{жс}}(\tau)]} = \frac{\Lambda}{\Lambda_p [k_{\text{жс}}(\varepsilon)]}, \quad (1)$$

мында Λ_p – чыңалуу абалынан көз каранды болгон металлдын чектик ийкемдүүлүгү; $\Lambda = \int_0^{\varepsilon} H(\tau) d\tau$ - жылышуу деформациясынын даражасы;

$k_{\text{ж}} = \sigma/T$ – чыңалуу абалынын схемасынын катуулук коэффициенти (ЧАСКК); T – жаныма чыңалуунун интенсивдүүлүгү, МПа; σ – орточо чыңалуу, МПа; $H(\tau)$ – жылышуу деформациясынын ылдамдыгынын интенсивдүүлүгү, с^{-1} .

Деформациянын бардык этаптарында жылышуу деформациясынын даражасы $\Lambda = \Sigma G_i$, формуласы боюнча эсептелди, мында G_i – деформациянын интенсивдүүлүгү.

Микроструктуранын эволюциясын изилдөөдө ВТ6 титан эритмесинин Джонсон-Мейл-Аврами-Колмогоров боюнча глобуляризациялоо модели колдонулду. Ушундай модель боюнча ВТ6 титан эритмесинин глобулярдык дандарынын көлөмдүк үлүштөрү жана орточо өлчөмү эсептелинди жана ЧДАнын жана *биринчи технологии* боюнча даярдалган кандалган бөлүктөрдүн микроструктурасынын эволюциясынын анализи жүргүзүлдү.

Компьютердик моделдөөнүн негизинде кесилиши тегерек даярдык бөлүктөрдү жайпак бойкаларда салыштырма берүүсү $S = 0,6...1,0$ болуп, чоюп тартуу биринчи туш тарабынан кысуунун баштапкы этабында даярдык бөлүктүн беттик зоналарында Ч жана ДИ локалдашуусуна алып келет; кысууну жана салыштырма берүүнү ($S=1,0$) чоңойтуу кандоочу крест боюнча локалдаштырууга алып келет; салыштырма берүүсү $0,6$ жана $0,8$ болгон чоюп тартуу чоңдугу боюнча максималдуу Ч жана ДИ, борбор менен даярдык бөлүктүн бетинин ортосунда жайланышкан зоналарда, ошондой эле даярдык бөлүктүн беттеринде дал келүү менен локалдаштырууга жол берет; биринчи өтмөктө салыштырма берүүсү $1,0$ болгон чоюп тартууда деформациянын геометриялык очогунун (ДГО) көлөмүнүн чоң бөлүгү деформациянын оордогон зонасында (ДОЗ) жайланышат, ал эми салыштырма берүүсү $6,0...0,8$ болгон чоюп тартууда салыштырмалуу ДГОНун көлөмүнүн кичине бөлүгү ДОЗда жайланышат; кандалган бөлүктүн 15% бир жолку кысылышы менен кантовкасы 30° та жана салыштырма берүүсү $6,0$, $0,8$ жана $1,0$ болгон чоюп тартуу Ч жана ДИ даярдык бөлүктүн беттик зоналарында локалдаштыруусуна алып келет, мында 20% чейин кысууну чоңойтуу Ч жана ДИ акцентин беттик зонадан даярдык бөлүктүн борборуна көчүрүлөт; кантовкасы 30° та Ч жана ДИ максималдуу чоңдуктары менен зоналарды чоюп тартууда деформация очогу боюнча бурулушат, бул макро жылышуу деформациясынын интенсивдүү өсүшүнө, б.а. металлдын структурасындагы дандардын өлчөмдөрүнүн интенсивдүү кичирейишине алып келет; чоңдугу боюнча максималдуу Ч жана ДИ кандоо крестинин зонасында жайланышы бул зонада металлдын

бузулуш кооптуулугуна, ошондой эле даярдык бөлүктүн башка зоналарында структуранын жетишсиз майдалануусуна алып келет; кесилиши тегерек даярдык бөлүктү аралашкан бойкаларда биринчи өтмөктө кантовкасыз чоюп тартуу Ч жана ДИ, даярдык бөлүктүн инструмент менен тийишкен тилкелеринде өсүшүнө алып келет, мында даярдык бөлүктүн жүктөн эркин беттик зоналарында чоңдугу боюнча кичине деформациялар пайда болот; кесилиши тегерек даярдык бөлүктү аралашкан ургуларда биринчи өтмөктө салыштырма берүүсү $S = 0,6$ болгон чоюп тартууда кысуунун баштапкы этабында даярдык бөлүктүн беттик катмарында Ч жана ДИ локалдашуусуна алып келет. Кысуунун көбөйүшү менен Ч жана ДИ локалдашуу зонасы беттик катмарлардан даярдык бөлүктүн борбору менен бетинин ортосунда жайланышкан зоналарга өтөт; даярдык бөлүктү аралашкан бойкаларда биринчи өтмөктө кысуунун чоң маанилери менен жана салыштырма берүүсү подачей $S = 0,8$ болгон чоюп тартуу Ч жана ДИ максималдуу маанилери менен зоналардын кеңейишине алып келет, бул учурда чоңдугу боюнча максималдуу Ч жана ДИ жайпак ургурлардын астында жыйналышат (локалдашат); биринчи өтмөктө аралашма ургулар менен салыштырмалуу берүүсү $S = 1,0$ болгон чоюп тартуу Ч жана ДИ максималдуу чоңдуктары менен зоналардын даярдык бөлүктүн жайпак ургу менен тийишкен тилкесинен кесилип алынган ургунун тилкелерине көчүшүнө алып келет; аралашкан кантовкасы бар ургуларда биринчи өтмөктө салыштырма берүүсү 0,6, 0,8 жана 1,0 болгон чоюп тартуу процессинде чыңалуунун жана деформациянын интенсивдүүлүгү металлдын инструмент менен тийишкен жеринде чогулат. Бирок, инструменттин даярдык бөлүк менен тийишкен тилкелеринин ортосунда чоңдугу боюнча орточо Ч жана ДИ пайда болот.

Бир топ чоюп тартуунун технологиялык режимдери үчүн жайпак жана аралашкан ургуларда жылышуу деформациясынын даражасы Λ эсептелди. Λ өзгөрүү эпюраларынын анализи салыштырма берүүсү $S = 0,8$ болгон, жана кантовкасы 30° менен жылышуу деформациясынын даражасы даярдык бөлүктүн борбордук зоналарында максималдуу маанилерге ээ экендигин көрсөттү. Мында Λ беттик зоналарда эң кичине маанилерге ээ болот.

Λ эсептөөнүн жыйынтыктары аралашкан ургуларда эң рационалдуу режим боюнча чоюп тартууда (салыштырма берүүсү 0,6 жана кантовка бурчтары 30°), Λ даярдык бөлүктүн беттерине жакын тилкелерде эң чоң маанилерге ээ, ал эми анын борбордук бөлүгүндө кичине мааниге ээ экендигин көрсөттү.

Ошентип, Λ эсептөөлөрү, анын деформацияланган даярдык бөлүктүн кесилишинде бир калыпта таралышына деформациялоонун

айкалышкан ыкмасы менен жетсе болоорун көрсөттү. Айкалышкан процесс өзүнө жайпак ургуларда кантовка бурчу 30° , салыштырма берүүсү 1,0 болгон чоюп тартууну деформациялоонун биринчи этабында жана аралашкан ургуларда кантовка бурчу 30° , салыштырма берүүсү 0,6 болгон кандоону деформациялоонун экинчи этабында камтыйт. Кандоонун мындай процесси менен майда дандуу, жогорку механикалык касиеттери менен кандалаган бөлүктөрдү даярдаса болот.

Чөгөрүлүп отургузулган даярдык бөлүктү штамптоодон алынган калакчанын кесилишиндеги Ч жана ДИНүн таралуу сүрөттөрүнүн анализи тийишкен бетте чоңдугу боюнча чоң сүрүлүүнүн коэффициенттеринин пайда болушунан улам, калакчанын кулпусунун беттик зоналарында Ч жана ДИ төмөндөйт. Деформация очогунда ички катмарлар сырткыларга караганда бир аз тез жылышат, жана металлдын очоктун борборунан калакчанын канатын көздөй октук багытта бир аз жылышы күтүлөт. Ч жана ДИНүн чоң мааниси деформация очогунан конус сымал көңдөйгө өтүшүндө байкалат. Ч жана ДИНүн чоң мааниси ошондой эле канаттын төмөнкү бөлүгүндө матрицанын конус сымал көңдөйүнө сыгылып киришинен улам болгондугу байкалат.

ЧАСКК жана ийкемдүүлүк ресурсун колдонуунун даражасы-ИРКД эсептөөлөрүнүн негизинде ВТ6 титан эритмесинен даярдык бөлүктөрдү жайпак жана аралашкан ургуларда чоюп тартууда ЧАСКК жана ИРКД эң чоң маанилери даярдык бөлүктүн жүктөн бош беттеринде пайда болоору аныкталды; даярдык бөлүктү ЖБӨФ менен штампта чөгөрүү процессинде жана ВТ6 титан эритмесинен даярдалган калакчаны штамптоодо ЧАСКК жана ИРКД эң чоң маанилери даярдык бөлүктүн чөгөрүлүп отургузулган бөлүгүнүн борборунда топтолот; жайпак жана аралашкан ургуларда чоюп тартууда, ЖБӨФ менен штампта чөгөрүүдө жана калакчаны штамптоодо ИРКД бирден ашпайт, бул даярдык бөлүктүн материалында, аны айкалышкан ондоп түзөө процесстер учурунда жараңкалар жоктугун көрсөтөт.

Жайпак ургуларда чоюп тартуудан кийин даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча глобулярдык дандардын үлүшү 0,33...0,73 түзөөрү аныкталды. Аралашкан ургуларда чоюп тартуудан кийин даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча глобулярдык дандардын үлүшү 0,85...0,96 түзөт. Ошентип, Анын топтолушунан жана деформациянын бир калыптагы орточо ылдамдыгынан улам даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча дандардын глобуляризациясы өрчүйт.

Глобулярдык дандын орточо өлчөмүнүн интенсивдүү кичирейиши көпчүлүк учурда аралашкан ургуларда кандоо процессинде (1,22...1,32 мкм чейин) жана чөгөрүүдө (0,76...0,83 мкм чейин) болоору көрсөтүлдү. Изотермикалык штамптоодон кийин глобулярдык дандын

орточо өлчөмү $0,51...0,62$ мкм болгон майда дандуу бир тектүү структура пайда болот. Алынган майда дандуу микроструктура ийкемдүүлүктү, согуучу илээшкектикти, бекемдикти жогорулатууга өбөлгө түзөт.

Экинчи технология боюнча даярдалган ВТ6 титан эритмесинен кандалган бөлүктүн ЧДА жана микроструктурасынын эволюциясынын анализи аткарылды. Компьютердик моделдөө менен жылмакай үбөлүктөр менен жукартууда убакыттын баштапкы моментинде деформациянын (Γ) жана чыңалуунун (σ_i) интенсивдүүлүгү үбөлүктөргө металл жабышкан зоналарда локалдашат. Деформациялоонун убактысынын өсүшү менен (экинчи стадия) чоңдугу боюнча максималдуу σ_i жана Γ даярдык бөлүктүн чет жактарында жыйналышат. Мындай жагдайда даярдык бөлүктүн борборунда σ_i жана Γ жогорулайт; жукартуунун кийинки стадияларында σ_i жана Γ акценти даярдык бөлүктүн чет жагынан борборуна үбөлүк менен даярдык бөлүктүн тийишкен зонасына көчөт. Стадиялар боюнча Ч жана ДИүн мындай таралышы Γ жана σ_i суммалык жактан деформация очогу боюнча бир калыпта таралышына алып келет; жылмакай үбөлүктөр менен жукартуу процессинде “ысык металл-үбөлүктөр” тийишкен зоналарда температура төмөндөйт; чөгөрүүнүн баштапкы стадиясында томпок ургуларда σ_i жана Γ даярдык бөлүк менен инструменттин тийишкен зоналарында көбүрөөк чогулушат; кысууну көбөйтүү σ_i жана Γ акценти тийишкен беттен борборго жана даярдык бөлүктүн чет жактарына көчөт; чөгөрүүнүн баштапкы стадиясында томпок ургуларда деформациянын чогулган зоналарында температура жогорулайт; металлдын агымынын ылдамдыгынын мүнөзү убакыт боюнча деформациянын интенсивдүүлүгүнүн өсүшүнө окшош.

Жылмакай үбөлүктөрдө жукартууда даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча Λ нын өзгөрүшүнүн эпюраларынын анализи кысылуусу $\varepsilon = 20\%$ болгон жылышуу деформациясынын даражасы деформация учурунда даярдык бөлүктүн беттик зоналарында, ал эми томпок ургуларда чөктүрүүдө – бөлүктүн тик огунун жанындагы борбордук зоналарда жана “ысык металл-инструмент” тийишүү тилкелеринде эң чоң маанилерге ээ экендигин көрсөттү.

Чыңалуу абалынын схемасынын катуулук коэффициенти ЧАСКК (КЖСНС) жана ИРКД эсептөөлөрүнүн негизинде ВТ6 титан эритмесинен даярдык бөлүктөрдү жылмакай үбөлүктөр менен үбөлөп жукартууда ЧАСКК жана ИРКД эң чоң маанилери периферия зоналарында аныкталган; томпок инструментте даярдык бөлүктү чөгөрүү процессинде жана ВТ6 титан эритмесинен калакчаны штамптоодо ЧАСКК жана ИРКД эң чоң маанилери борбордук жана периферия зоналарында чөгөрүлүп отургузулган жана пресстелген

бөлүгүндө топтолгон; жылмакай үбөлүктөрдө жукартууда, томпок инструментте чөгөрүүдө жана титан эритмесинен калакчаны штамптоодо ИРКД бирден ашпайт, бул айкалышкан металлдарды басым менен оңдоп түзөө (МБО) процессинде даярдык бөлүктүн материалынын үзгүлтүксүздүгүнүн бузулушунун жоктугун көрсөтөт.

Жылмакай үбөлүктөрдө жукартуудан кийин глобулярдык дандардын үлүшү даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча 0,46...0,74 түзөөрүн көрсөтүлдү. Мында беттик зоналарда жана даярдык бөлүктүн бетине жакын жайланышкан зоналарда Λ нын чоң маанилеринен улам, дээрлик толук дандардын глобуляризациясы болот. Бирок, борбордук зоналарда Λ нын кичине маанилеринин себебинен глобуляризация толук болбойт.

Томпок ургуларда чөгөрүүдө глобулярдык дандардын үлүшү даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча 0,85...0,98 түзөт, б.а. Λ өсүшүнөн жана деформациянын бир калыптагы орточо ылдамдыгынан даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча дандардын глобуляризациясы дээрлик толук болот.

Деформациянын кыйындаткан зоналарын изотермикалык кошумча жана акыркы штамптоодо, структура толугу менен ламеллярдыктан глобулярдыкка айлануусу үчүн жетишээрлик деформацияны алышат.

Глобулярдык дандын орточо өлчөмүнүн эң көп интенсивдүү азайышы жылмакай үбөлүктөрдө жукартууда (6,23...4,11 мкм чейин) жана томпок гидравликалык прессте ургуларда чөгөрүүдө (2,51...1,72 мкм чейин) аныкталды. Кривошиптүү ысык штамптоочу прессте (КЫШП) изотермикалык штамптоодон кийин глобулярдык дандардын орточо өлчөмү 1,51...0,62 мкм болгон майда дандуу бир тектүү структура пайда болот. Мындай майда дандуу микроструктура ийкемдүүлүктү, согуучу илээшкек тикти, бекемдикти жогорулатууга өбөлгө түзөт.

Баштапкы даярдык бөлүктүн барагына томпок ургуларда алдын ала фасон берүүчү изотермикалык штамптоо процессинде Ч жана ДИ аракеттүү метод менен жөндөөгө боло тургандыгын белгилеп кетүү керек. Конус түрүндөгү даярдык бөлүктү колдонуу даярдык бөлүктүн материалын штамптоо алдында сапаттуу кайрадан бөлүштүрүп гана койбостон, штамптагы жылышуу күчтөрүн өз ара тең салмактайт, ушунусу менен атайын токтотуп кармаган чуңкурлардан кутултат жана штамптын ресурсун көбөйтөт.

ЧДАнын анализи жана ВТ6 титан эритмесинен *үчүнчү технология* боюнча жасалган даярдык бөлүктүн микроструктурасынын эволюциясы аткарылды. Компьютердик моделдөөдөн алынган

жыйынтыктардын негизинде биринчи өтмөктө кесилиши тегерек даярдык бөлүктү РКМда чоюп тартууда чыңалуунун жана деформациянын интенсивдүүлүгү даярдык бөлүктүн беттик зоналарында жыйналышат, ал эми туш тараптан кысууну чоңойткондо сүрүлүү күчүнүн пайда болушунан улам Ч жана ДИнүн эң чоң мааниси даярдык бөлүктүн радиусунун ортосунда пайда болот; биринчи өтмөктө даярдык бөлүктүн инструментке жакын зоналарында жана жайпак инструменттин даярдык бөлүк менен тийишкен зонасынан анык төмөн жайланышкан зоналарында, мааниси боюнча эң чоң σ_i жана Γ пайда болот. РКМда кантовкасы 30° болгон чоюп тартуу жана кичине чондуктар менен туш тараптан кысуу σ_i жана Γ маанилерин металлдын инструмент менен тийишкен зоналарында чогулушуна мүмкүндүк берет, ал эми эң чоң маанилери менен кысууну чоңойтууда σ_i жана Γ даярдык бөлүктүн борборуна жылышат, σ_i жана Γ эң чоң маанилери пайда болот. РКМда кантовкасы менен жана кысуунун аз маанилери менен чоюп тартууда металлдын инструмент менен тийишкен жеринде σ_i жана Γ чогулушуна көмөктөшөт, ал эми кысуунун чоңойткон кезде σ_i жана Γ чоң маанилери менен даярдык бөлүктүн борборуна жакын көчөт, мында беттен радиустун ортосуна чейин σ_i жана Γ салыштырмалуу бир тектүү таралат; РКМда чоюп тартуу процессинде Ч И жана Днын жыйналган зоналарында температура жогорулайт, ал эми инструменттин даярдык бөлүк менен тийишүү зонасында – төмөндөйт; томпок ургуларда чөгөрүүдө кысуунун кичине маанилеринде σ_i жана Γ инструмент менен даярдык бөлүктүн тийишкен зонасында жыйналат; бирдик кысууну чоңойткондо ЧИ жана Ддагы көбүрөөк даярдык бөлүктүн тийишүү зонасында жыйналат, мында σ_i жана Γ чондуктары даярдык бөлүктүн борборунда жана периферия зоналарында жогорулайт; томпок ургуларда чөгөрүүдө кысуунун кичине маанилеринде σ_i жана Γ даярдык бөлүк менен инструменттин тийишүү зонасында жыйналат; бирдик кысуу жогорулаган сайын ЧИ жана Ддагы көбүрөөк даярдык бөлүктүн тийишүү зонасында жыйналат, мында Γ , σ_i чондуктары даярдык бөлүктүн борборунда жана перифериясында жогорулайт; томпок ургуларда чөгөрүү деформациянын жыйналган зоналарында температуранын жогорулашына алып келет; металлдын ылдамдыгынын таралыш мыйзам ченемдүүлүктөрү убакыт боюнча Γ нын өрчүшүнө туура келет.

Анын эсептөөлөрү, жайпак ургуларда кантовкасы 30° жана салыштырма берүүсү $S = 0,8...1,0$ болгон чоюп тартууда жылышуу деформациясынын даражасы даярдык бөлүктүн инструментке жакын, ошондой эле борбордук зоналарында максималдуу мааниге ээ болоорун көрсөттү. Мында беттик тилкелерде Λ минималдуу маанилерге ээ болот.

Даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча Λ нын өзгөрүлүшүнүн сүрөттөрүнүн анализи РКМда кантовка бурчу 45° болуп чоюп тартууда жылышуу деформациясы даярдык бөлүктүн бетине жакын тилкелерде эң чоң маанилерге ээ болот, ушул эле учурда даярдык бөлүктүн борборунда – эң кичине мааниге ээ экендигин көрсөттү.

Ошентип, РКМда кандоодо чыңалуунун жана деформациянын интенсивдүүлүгү, ошондой эле Λ даярдык бөлүктүн беттик жана ортоңку зоналарында жыйналышкан. Ошондуктан кандап жасалган бир тектүү структурасы менен бөлүктөрдү даярдоо үчүн, РКМда кандоону жана жайпак ургуларда кандоонун айкалышкан ыкмасын, баштапкы даярдык бөлүктүн структурасын экөө биригип бир калыпта майдалагандай кылып колдонуу керек.

Даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча Λ нын өзгөрүшүнүн мыйзам ченемдүүлүктөрүн томпок ургуларда чөгөрүүдө анализдөө менен жылышуу деформациясынын даражасы даярдык бөлүктүн беттик зоналарында максималдуу мааниге ээ экендиги аныкталды.

ЧАСКК жана ИРКД эсептөөнү негизинде ВТ6 титан эритмесинен даярдык бөлүктөрдү жайпак ургуларда чоюп тартууда ЧАСКК жана ИРКД эң чоң маанилери даярдык бөлүктүн жүктөн эркин беттик зоналарында байкалды; ВТ6 титан эритмесинен даярдык бөлүктөрдү РКМда чоюп тартууда ЧАСКК жана ИРКД эң чоң маанилери даярдык бөлүктүн борбордук зоналарында пайда болду; ВТ6 титан эритмесинен калакчаны даярдык бөлүктөрдүн томпок инструментине чөгөрүүдө ЧАСКК жана ИРКД эң чоң маанилерин чөгөрүлгөн даярдык бөлүктүн перифериялык зоналарында болду; жайпак ургуларда жана РКМда чоюп тартууда, ошондой эле томпок инструментте чөгөрүүдө жана калакчаны штамптоодо ИРКД бирден ашпайт, бул даярдык бөлүктүн материалынын үзгүлтүксүздүгүнүн бузулушунун МБОнун айкалышкан процесстеринде жоктугун көрсөтөт.

Жайпак ургуларда чоюп тартууда глобулярдык дандардын үлүшү даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча 0,32...0,83 түзөөрү аныкталды. Мында Λ борбордук зоналарда, борборго жакын зоналарда чоң маанилеринен улам, дээрлик толук глобуляризация болот. Бирок, даярдык бөлүктүн беттик зоналарында Λ нын маанилери кичине болгондуктан дандардын глобуляризациясы толук болбойт.

РКМда чоюп тартууда жана томпок ургуларда чөгөрүүдөн кийин глобулярдык дандардын үлүшү даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча 0,92...0,99 түзөт, б.а. Λ нын бир калыпта таралышынан жана деформациянын бир калыпта орточо ылдамдыгынан даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча дээрлик толук дандардын глобуляризациясы болот.

ИЗШ процессинде кыйындат ылган деформациянын зоналарында глобулярдуу структурага айландырууга жетишээрлик деформацияны алууга болот. Глобулярдык дандардын орточо өлчөмүнүн төмөндөшү жайпак ургуларда (3,93...9,43 мкм чейин) жана РКМда чоюп тартууда (2,83...4,31 мкм чейин), томпок ургуларда гидравликалык прессте чөгөрүүдө (1,62...1,92 мкм чейин) болот. КЫШПте изотермикалык штамптоодон кийин дандардын орточо өлчөмү 0,52...0,73 мкм болгон майда дандуу бир тектүү структура пайда болот.

ЧДАнын жана ВТ6 титан эритмесинен *төртүнчү технология боюнча* даярдалган кандалган бөлүктөрдүн микроструктурасынын эволюциясынын анализи жүргүзүлдү. ЧДАын жайпак, аралаш ургуларда жана РКМда чоюп тартууда жыйынтыктары жогоруда берилген сандык маалыматтарга дал келди.

Жайпак ургуларда чоюп тартуудан кийин глобулярдык дандардын үлүшү даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча 0,31...0,51 түзөөрү аныкталды. Аралаш ургуларда чоюп тартуудан жана $T_{\text{ш}}$ температурасынан жогору температурада күйдүрүүдөн кийин глобулярдык дандардын үлүшү даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча 0,63...0,82 түзөт. Ошентип, Анын өсүшүнөн жана деформациянын бир калыпта орточо ылдамдыгынан жана $T_{\text{ш}}$ температурасынан жогору температурада күйдүрүүдөн кийин даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча дандардын глобуляризациясы дээрлик толук жүрөт.

РКМда чоюп тартуудан кийин, чөгөрүп отургузгандан жана изотермикалык штамптоодон кийин структура толугу менен глобулярдыкка айланат. Глобулярдык дандардын орточо өлчөмүнүн интенсивдүү төмөндөшү аралаш ургуларда чоюп тартууда, күйдүрүп жана РКМда чоюп тартууда (1,24...2,14 мкм чейин), ошондой эле гидравликалык пресске отургузуп чөгөрүүдө (1,08...1,25 мкм чейин) болот. КЫШПте изотермикалык штамптоодон кийин глобулярдык дандардын орточо өлчөмү 0,51...0,74 мкм болгон майда дандуу бир тектүү структура пайда болот.

Ошентип, кандоо жана КЫШПте изотермикалык штамптоонун аркасында турбиналык майда дандуу бир тектүү микроструктурасы менен калакчаларды алууга болот. Ушул структура ийкемдүүлүктү, согулуу илешкектикти, алынган тетиктердин бекемдигин жогорулатууга өбөлгө түзөт.

Төртүнчү бөлүмдө дисктерди айкалышкан штамптоо процесстеринде ЧДАын изилдөө деформацияланган эритменин ийкемдүүлүгүнүн ресурстарын баалоосу менен жүргүзүлдү. Ушул бөлүмдө даярдык бөлүктүн ЧДАы кесилген ургуларда зымдарды чоюп

тартууда MSC.SUPERFORGE программалык каражатын колдонуу менен изилденди.

Компьютердик моделдөөнүн жыйынтыктарынын негизинде кесилип алынган ургуларда ЧИ жана Д даярдык бөлүк менен инструменттин тийишүү зоналарында жана ага жакын жайланышкан зоналарда жана кандалган бөлүктүн борбордук зоналарында чоң маанилерге ээ болоору аныкталды. Мында жүктөн бош болгон даярдык бөлүктүн беттик тилкелеринде чоңдугу боюнча ЧИ жана Д кичине маанилерге ээ экендиги байкалды. Кесилип алынган ургуларда чоюп тартууда ургунун симметрия огунда ЧИ жана Д кичине маанилерге ээ болгон зоналар бар; кысууну чоңойтуу менен ЧИ жана Днын жыйналуу зоналарынын кеңейүүсү башталат.

Даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча Анын эпюраларынын өзгөрүшүнүн анализи кесилип алынган ургуларда чоюп тартууда периферия жана борбордук зоналарда Анын бир калыпта таралышы кантовка бурчунун $90^{\circ} - 45^{\circ} - 30^{\circ} - 90^{\circ}$ маанилеринде орун алаарын көрсөттү. Бул учурда салыштырмалуу берүүсү $S = 0,6$ болгон чоюп тартуу периферия жана бетке жакын зоналарда Анын маанисинин өсүшүнө алып келет. Даярдык бөлүктүн борбордук зоналарында Λ эң кичине маанилерге ээ экендигин белгилеп кетүү керек.

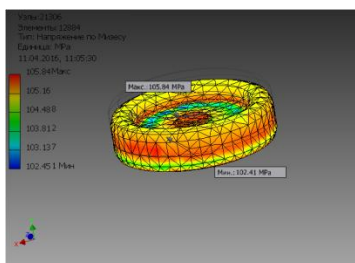
Ошентип, эсептөөлөрдүн жыйынтыгы көрсөткөндөй, Анын бир калыпта даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча таралышына деформациялоонун айкалышкан жолу менен жетсе болот экен. Деформациялоонун айкалышкан жолу ондоп түзөөнүн төмөнкүдөй үч жолун карайт: жайпак ургуларда 850°C температурада, кантовка бурчу 30° жана салыштырмалуу берүүсү $1,0$ болгон чоюп тартуу; кесилип алынган ургуларда кантовка бурчу $90^{\circ} - 45^{\circ} - 30^{\circ} - 90^{\circ}$ менен 850°C температурада, салыштырмалуу берүүсү $0,6$ болгон кантоо; жабык штампта 650°C температурада штамптоо.

Диск түрүндөгү кандалган бөлүктүн кесилиши боюнча ЧИ жана Днын таралышынын сүрөттөрүн анализдөө, штамптын конструкциясынын татаалдыгына байланыштуу, андыктан сүрүлүүнүн коэффициентинин чоңоюшунан, даярдык бөлүктүн беттик зоналарында ЧИ жана Д төмөндөөрүн (2-сүрөт) көрсөттү. Деформация очогунда даярдык бөлүктүн ички катмарлары сырткы катмарларга караганда бир канча тезирээк кыймылдайт, бул Λ нын диск түрүндөгү даярдык бөлүктүн борбордук зоналарында чоңоюшуна алып келет.

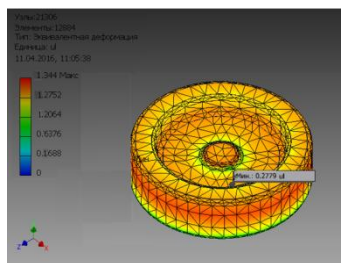
ЧАСКК жана ИРКД эсептөөнү негизинде ВТ6 титан эритмесинен даярдык бөлүктөрдү жайпак жана кесилип алынган ургуларда чоюп тартууда ЧАСКК жана ИРКД эң чоң маанилери даярдык бөлүктүн жүктөн бош беттик зоналарында пайда болот. ВТ6 титан эритмесинен

диск түрүндөгү даярдык бөлүктөрдү жайпак жана кесилип алынган ургуларда чоюп тартууда жана штамптоодо ИРКД маанилери бирден ашпайт, бул айкалышкан металлдарды басым менен оңдоп түзөө (МБО) процессинде даярдык бөлүктүн материалынын үзгүлтүксүздүгүнүн бузулушунун жоктугун көрсөтөт.

Жайпак жана кесилип алынган ургуларда чоюп тартуудан кийин даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча глобулярдык дандардын үлүшү, тиешелүү түрдө караганда, 0,33...0,73 жана 0,93...0,99 түзөт, б.а. даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча дээрлик толук дандардын глобуляризациясы жүрөт.



а



б

2-сүрөт – Чыңалуунун (а) жана деформациянын (б) интенсивдүүлүктөрүнүн диск түрүндөгү кандалган бөлүктүн кесилиши боюнча $t = 650^{\circ}\text{C}$ да таралышынын сүрөтү

Глобулярдык дандардын орточо өлчөмүнүн интенсивдүү төмөндөшү кесилип алынган ургуларда кандоодо (3,54...6,54 мкм чейин) болот. Изотермикалык штамптодон кийин глобулярдык дандардын орточо өлчөмү 0,52...4,29 мкм болгон майда дандуу бир тектүү структура пайда болот. Ушул микроструктура ийкемдүүлүктү, согулуу илешмектигин, алынган тетиктердин бекемдигин жогорулатууга өбөлгө түзөт.

Иштелип чыккан технологиянын лабораториялык ишке салынышынын жыйынтыктары келтирилген. Лабораториялык экспериментти жүргүзүү үчүн Ш 90Ч220 мм өлчөмүндөгү ВТ1-0 маркасындагы титан эритмесинин даярдык бөлүгү колдонулду. Баштапкы даярдык бөлүк бирдик кысуусу 20% жана салыштырмалуу берүүсү 0,8 – 1,0 болуп, “тегерек-тегерек” схемасы боюнча диаметри 70 мм чейин, 850°C температурада винт түрүндөгү прессте чоюп тартылды. Алынган даярдык бөлүк 850°C температурага чейин ысытылды жана аралашкан ургуларда кысуу бирдиги 20% жана салыштырмалуу берүүсү 0,5 – 0,6 болуп, “тегерек-тегерек” схемасы

боюнча диаметри 50 мм чейин чоюп тартылды. Кандалган даярдык бөлүк чендик даярдык бөлүктөргө кесилди. Андан ары чендик даярдык бөлүктөр 650 °C температурага чейин ысытылып, диск түрүндөгү кандалган бөлүктөр штамптоодон өттү.

Жайпак ургуларда кандалган даярдык бөлүктөрдүн структурасын изилдөө, жайпак ургуларда чоюп тартуу даярдык бөлүктүн октук зоналарын артыкчылык менен деформацияланышын камсыздай тургандыгын көрсөттү. Жыйынтыгында бул зонада салыштырмалуу майда дандуу, дандарынын өлчөмү 30,9 – 41,2 мкм болгон структура түзүлөт. Мындай кандоонун режимдеринде беттик зоналарда кесек дандуу структура сакталат. Жыйынтыгында даярдык бөлүк пластиналар түрүндөгү, пластиналардын өлчөмү туурасынан кесилишинде 10,3мкмден 16,1 мкм чейин болгон структурага ээ болот. Андан аркы аралаш ургуларда чоюп тартуу деформациянын акцентин даярдык бөлүктүн беттик катмарларына көчүрөт жана салыштырмалуу майда дандуу, дандарынын өлчөмү 10,7 – 14,9 мкм чейин болгон структуранын түзүлүшүнө алып келет.

BT1-0 титан эритмелеринин винт түрүндөгү прессте штамптоодон кийинки үлгүлөрүн изилдөө, кандалган бөлүктөр дандарынын өлчөмү 0,21 – 0,43 мкм болгон салыштырмалуу майда дандуу структурага ээ экендигин көрсөттү.

Механикалык касиеттерди изилдөөнүн жыйынтыктары боюнча штампталган дисктердин механикалык касиеттеринин жалпы деңгээли бардык көрсөткүчтөрү боюнча OCT 1 90218-76 талаптарына ылайык келет.

Ошентип, титан эритмелеринен дисктерди даярдоонун сунушталган ыкмалары кандалган бөлүктөрдүн сапатын жогорулатууга өбөлгө түзөт, мында иштин көлөмү 20 – 25% төмөндөйт, жарактуу металлдын чыгышы 9 – 12 % жогорулайт.

НЕГИЗГИ ЖЫЙЫНТЫКТАР ЖАНА КОРУТУНДУЛАР

Аткарылган изилдөөлөрдүн жыйынтыгында ысыкта штамптоо технологиялык процессинин моделдөө областынын жана титан эритмелеринин кандалган бөлүктөрүн оңдоп түзөө режимдери боюнча сунуштарды иштеп чыгуунун актуалдуу маселеси чыгарылды. Иштин жыйынтыктары боюнча төмөндөгүдөй жыйынтыктоолорду жасаса болот:

1. «MSC.SuperForge» программа каражатынын комплексин колдонуу менен кандоо жана штамптоо операцияларынын компьютердик моделдөө ишке ашырылды, муну колдонуу чыныгы

технологиялык тетиктерди жана жетилген бөлүктөрдү өндүрүштө даярдоо технологияларында материалдык жана убакыт чыгымдарынан качууга көмөктөшөт.

2. Биринчи жолу сандык берилиштер алынды жана ЖБӨФ менен штампта чөгөрүп отургузулган жана кесилип алынган ургуларда чоюп тартылган титан эритмесинин кандалган бөлүктөрүнүн ЧДАнын өзгөрүшүнүн негизги мыйзам ченемдүүлүктөрү аныкталды.

3. Ысыкта кандоо жана штамптоо шарттарында титан эритмелеринин кандалган бөлүктөрүнүн дандарынын өлчөмдөрүн эсептөөнүн усулдук сунуштамалары иштелип чыгып, жыйналган деформациянын деформацияланган даярдык бөлүктүн кесилиши боюнча салыштырмалуу бир калыпта таралышына, оңдоп түзөөнүн айкалышкан процесстерин колдонуу менен жетсе болоору аныкталды.

4. Чектүү элементтер методу аркылуу сандык маанилер алынды жана жукартууну, жайпак жана аралаш ургуларда, РКМда чоюп тартууну, ошондой эле томпок ургуларда чөгөрүүнү жана штамптоону моделдөөдө ЧДА таралышынын негизги мыйзам ченемдүүлүктөрү аныкталды.

5. Жылмакай үбөлүктөрдө жукартуу менен жана томпок ургуларда чөгөрүп отургузуу жана изотермикалык штамптоо же жайпак, аралаш ургуларда жана РКМда чоюп тартуу, ЖБӨФ менен инструментте чөгөрүп отургузуу жана КЫШПте изотермикалык штамптоо, ошондой эле жайпак, аралаш ургуларда кандоо, $T_{\text{пп}}$ дан жогору же төмөн температураларда кандалган бөлүктүн материалынын үзгүлтүксүздүгүн бузбаган ЖБӨФ менен инструментте чөгөрүп отургузууда жана КЫШПте изотермикалык штамптоодо майда дандуу жана глобулярдык структурадагы дисктерди жана калакчаларды даярдоого болоору далилденди.

6. ВТ1-0 эритмесинен кандалган бөлүктөрдүн майда дандуу структурасын жана талап кылынган механикалык касиеттерин камсыздоо үчүн структураны даярдоодо жайпак жана кесилип алынган ургуларда $T_{\text{пп}}$ эрүү температурасынан төмөн температурада салыштырмалуу берүүсү $0,8 - 1,0$ жана $0,5 - 0,6$, тийиштүү түрдө туура келген, чоюп тартууну жана кандалган бөлүктөрдү штамптоону $T_{\text{пп}}$ дан кичине температурада гидравликалык прессте ишке ашыруу керектиги аныкталды.

7. Титан эритмелеринен окко симметриялуу кандалган бөлүктөрдү ысык көлөмдүү штамптоонун технологиясын компьютердик моделдөөнүн нормативдик документтерге ылайык усулдук көрсөтмөлөрү MSC.SuperForge программа каражатынын комплексинде иштелип чыкты.

ДИССЕРТАЦИЯЛЫК ИШТИН НЕГИЗГИ ЖОБОЛОРУНУН ЖАРЫККА ЧЫККАН ИЛИМИЙ ЭМГЕКТЕРДИН ТИЗМЕСИНДЕ ЧАГЫЛЫШЫ

1. Нурахметова, К.К. Моделирование технологического процесса штамповки турбинных лопаток из титановых сплавов [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев // Наука и новые технологии - Бишкек: Издательство научных журналов и детской художественной литературы, 2015, № 2.- С. 36-44.

2. Нурахметова, К.К. Исследование напряженно-деформированного состояния заготовки при высадке осесимметричных поковок с применением MSC.SUPERFORGE [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев // Известия Вузов - Бишкек: Издательство научных журналов и детской художественной литературы, 2015.- № 1.- С. 24-30.

3. Нурахметова, К.К. Проблемы штамповки титановых сплавов и их решение [Текст] / С.А. Машеков - Известия КГТУ им Раззакова Бишкек: Текник, 2015.- № 34 – С. 134-138.

4. Нурахметова, К.К. Управление деформацией как инструмент обеспечения заданных структур и свойств компрессорных лопаток из титановых сплавов [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев // Известия КГТУ им Раззакова Бишкек: Текник, 2015.- № 34 – С. 149-159

5. Нурахметова, К.К. Моделирование технологического процесса подготовки структуры заготовок ковкой в плоских и комбинированных бойках для штамповки компрессорных лопаток [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев // Известия КГТУ им Раззакова Бишкек: издательство Текник, 2015. - № 35 –С. 91-99

6. Нурахметова, К.К. Получение компрессорных лопаток с заданной структурой в совмещенных процессах обработки металлов давлением с применением методов математического моделирования [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев //; Известия КГТУ им Раззакова Бишкек: издательство Текник, 2015 - № 35 –С. 99-107

7. Нурахметова, К.К. Некоторые проблемы развития производства штампованных поковок из титановых сплавов в странах СНГ. [Текст] / С.А. Машеков // Сборник материалов Международной научно-практической конференции, г. Кемерово: УИП КузГТУ, 2015- 5-6 мая - С. 171-176.

8. Nurakhmetova, K.K. Improving the processing of forgings made of titanium alloys by the uniform distribution of deformation in the blanks during the combined forging processes / Mashekov S.A., Alshynova

A.M., Mashekova A.S., Tukibay A.A. // Sadguru Publications Udaipur (INDIA) 2015, 13(2) - P.786-800.

9. Нурахметова, К.К. Состояние и перспективы развития производства турбинных лопаток из титановых сплавов за рубежом [Текст] / С.А. Машеков // Вестник НАН РК – Алматы: Аруна, 2015. - № 3. - С.108-115.

10. Nurakhmetova, K.K. Improving the technology of blade punching made of titanium alloys by the calculation of degree of resource utilization plasticity / Mashekov S.A., Alshynova A.M., Mashekova A.S., Smailova G.A., Bazhaev N.A. // Sadguru Publications Udaipur (INDIA) 2016, 14(2)- P. 829-841

11. Nurakhmetova K.K. Engineering of the combined process of punching the compressor blades with an estimate of the plasticity resource of the wrought alloy / Mashekov S.A., Alshynova A.M., Mashekova A.S., Smailova G.A., Sembayeva N.S. // Sadguru Publications Udaipur (INDIA) 2016, 14(2), P. 852-864

12. Nurakhmetova, K.K. Controlling the stress-strain as a tool for ensuring the production of titanium blades without any defects / Mashekov S.A., Alshynova A.M., Smailova G.A., Myrzakhmetova U.A. // Wulfenia jounnal Klagenfurt, Austria 2016, № 2 (23)

Нурахметова Кульзира Кумаргалиевнанын «Титан эритмелеринен окко симметриялуу кандалган бөлүктөрдү ысыкта штамптоо процессин моделдөөнү иштеп чыгуу» деген темадагы, адистиги: 05.02.08 «Машина куруунун технологиялары» боюнча техника илимдеринин кандидаттык илимий даражасын изденип алууга диссертациясы
КЫСКАЧА МАЗМУНУ

Ачкыч сөздөр: чыңалуу тензору, деформация тензору, которулуш, микроструктура, титан эритмелери, α -дан, β -дан ($\alpha+\beta$)-фаза, α -фаза, β -фаза, деформация, чыңалуу, агуунун предели, бекемдик предели, даярдык бөлүк, кандалган бөлүк, чоюп тартуу, кандоо.

Изилдөө объекти: титан куюлмаларынан жасалган сом темир уста-жубастык өндүрүшү.

Изилдөө предмети: октук симметриялуу титан эритмелерин ыссык жубастоо режимдери.

Илимий иштин максаты: майда дандуу структурасы менен окко симметриялуу кандалган бөлүктөрдү өндүрүүнүн технологиясын долбоорлоо үчүн ысыкта кандоо жана көлөмдүү штамптоо процесстерин моделдөөнүн ыкмаларын иштеп чыгуу.

Изилдөөнүн методу жана аппаратурасы. Изилдөөнүн усулдук көрсөтмөлөрү чыңалуу деформациянын абалын ЧДА теориясын, кандоо процессинин чектүү-элементтик моделдөөнү колдонууга негизделген. Теориялык эсептөөлөр үчүн MSC.SuperForge программалык каражаттын комплекси колдонулду. «Axiovert-200 MAT» оптикалык микроскопто металлографиялык анализ жүргүзүлдү. Эксперименттик изилдөөлөр винт түрүндөгү прессте жана MB-01м түзүлүшүндө аткарылды.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы. Титан эритмелеринен окко симметриялуу кандалган бөлүктөрдү ысык көлөмдүү штамптоонун технологиясын компьютердик моделдөөнүн усулдук көрсөтмөлөрү MSC.SuperForge программа каражатынын комплексинде иштелип чыкты; кандалган бөлүктөрдү өзгөрүлмө формадагы инструментте штамптоодо, ошондой эле жыйналган деформацияны металлдарды айкалышкан ондоп түзөөдө сандык берилиштер жана ЧДАнын өзгөрүшүнүн аныкталган мыйзам ченемдүүлүктөрү, температура жана энергия күчтүн параметрлери алынды; талап кылынган сапаттагы диск жана калакча түрүндөгү кандалган бөлүктөрдү өндүрүүгө өбөлгө түзгөн титан эритмелеринин дандарынын чоңдуктарынын кандоонун жана штамптоонун негизги технологиялык параметрлеринен көз карандылыгы иштелип чыкты жана илимий жактан негизделди.

Колдонуу даражасы: алынган жыйынтыктар, көлөмдүү штамптоонун технологиялык процессинин компьютердик моделдөө ыкмаларын окуу процессине киргизүүгө кызыккан Алматы технологиялык университетине өткөрүлүп берилди.

Колдонуу областы: металлургия жана машина куруу ишканалары.

РЕЗЮМЕ

диссертации Нурахметовой Кульзиры Кумаргалиевны на тему «Разработка методики моделирование процессов горячей штамповки осесимметричных поковок из титановых сплавов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Ключевые слова: тензор напряжений, тензор деформации, переменушение, микроструктура, титановые сплавы, α -зерна, β -зерна ($\alpha+\beta$)-фаза, α -фаза, β -фаза, деформация, напряжение, предел текучести, предел прочности, заготовка, поковка, протяжка, ковка.

Объект исследования: технологический процесс изготовления осесимметричных поковок из титановых сплавов.

Цель работы: разработка методики моделирования процессов горячейковки и объемной штамповки для проектирования технологии производства осесимметричных поковок с мелкозернистой структурой.

Методы исследования и аппаратура. Методика исследований базируется на использовании теории напряженно-деформированного состояния НДС, конечно-элементном моделировании процессовковки. Для теоретического расчета использованы программные комплексы MSC.SuperForge. Металлографический анализ был проведен на оптическом микроскопе «Axiovert-200 MAT». Экспериментальные исследования проводились на винтовом прессе и установке MB-01м.

Полученные результаты и их новизна. Разработана методика компьютерного моделирования технологического процесса горячей объемной штамповки осесимметричных поковок из титановых сплавов в программном комплексе MSC.SuperForge; получены количественные данные и установленные закономерности изменения НДС, температуры и энергосиловых параметров при штамповке поковок в инструменте с изменяющейся формой, а также накопленной деформации при совмещенной обработке металлов; разработаны и научно-обоснованы зависимости величины зерна титановых сплавов от основных технологических параметровковки и штамповки, позволяющие производить поковки типа дисков и лопаток требуемого качества.

Степень использования: полученные результаты переданы Алматинский технологический университет, которые заинтересованы во внедрении в учебный процесс методику компьютерного моделирования технологического процесса объемной штамповки.

Область применения: металлургические и машиностроительные предприятия.

SUMMARY

of dissertation of Nurakhmetova Kulzira Kumargaliyevna on the theme
"Development of a technique of hot stamping process simulation of
axisymmetric forging from titanium alloys" for the degree of candidate
of technical sciences, specialty 05.02.08 - Mechanical engineering
technology

Keywords: stress tensor, strain tensor, moving, microstructure, titanium alloys, α -grains, β -grains, $(\alpha + \beta)$ -phase, α -phase, β -phase, deformation, stress, yield stress, tensile strength, preform, forging, broaching, hammering.

The object of research: the technology of forging and stamping axisymmetric hammerings from titanium alloys of various stamping equipment.

Objective: To develop a methodology simulation of hot forging and die forging technology for the design of the production of axisymmetric hammerings with fine-grained structure.

Research methods and instruments. Methodology of study is based on the use of VAT theory, finite element simulation of the forging process. For the theoretical calculation software used MSC.SuperForge complexes. Metallographic analysis was performed on an optical microscope «Axiovert-200 MAT».

The results and novelty. Quantitative data and set the VAT change patterns, temperature, power parameters at stamping forgings in a tool with a changing shape, computer modeling the quantitative data and established the basic laws of the distribution of the accumulated deformation in the combined treatment of metals, such as broaching in different shapes strikers and stamping, developed and scientifically depending on the size of the grain-based titanium alloys from the basic technological parameters of forging and stamping to allow for forging types of discs and the required quality of the blades.

Results of the study can be used in the educational process, as well as engineering and metallurgical enterprises of the CIS countries.

Extent of use: The results are transferred to the Almaty Technological University, who are interested in the implementation of the methodology in the educational process of computer simulation of the process forging.

Applications: metallurgical and machine-building enterprises of the CIS countries.