

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/UAET1531>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

Ж. Н. Абілқайыр¹, *А. Т. Турдалиев², А. Т. Альпеисов³

^{1,3}Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

²Қазақ жолдар қатынастар университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

МЕТАЛЛ БҰЙЫМДАРЫНЫҢ ЭКСПЛУАТАЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ҚАЛДЫҚ КЕРНЕУЛЕРДІҢ ӘСЕРІ

Бұл мақалада қалдық кернеулердің мәні, қалдық кернеулердің металл бұйымдарының пайдалану қасиеттеріне әсері және қалдық кернеулердің зиянды әсерлері қарастырылды. Тәжірибелік зерттеулер мен практикалық тәжірибе негізінде қысу қалдық кернеулері шаршау беріктігін арттырады, ал созылу қалдық кернеулері қолайсыз әсер ететіні анықталды. Қалдық кернеулердің төзімділікке әсері материалдың механикалық қасиеттеріне және кернеу күйінің сипатына байланысты. 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 мәнсіз етеді. Бөлшектер материалдарының беткі қабатының сипаттамалары өнім бөлшектерінің пайдалану қасиеттеріне шешуші әсер етеді.

Кілтті сөздер: кернеулер, қалдық кернеулер, тозу, өңдеу, деформация, иілу, жарықшақ, болат, созылу.

Кіріспе

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.

Қалдық кернеулер өңдеу, пайдалану және тіпті сақтау кезінде өнімнің мінез-құлқына әсер етеді. Қалдық кернеулер алгебралық түрде жұмысшы, сыртқы қолданылған кернеулермен қосылып, оларды күшейтуі немесе әлсіретуі мүмкін. Әдетте, созылу кезіндегі қалдық кернеулер ең қауіпті болып табылады, өйткені олар сыртқы жүктемелерден болатын созылу кернеулерімен біріктірілгенде, бұл жүктемелер аз болуы мүмкін болса да, жойылуға әкеледі.

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

Жоғары қалдық кернеулер кезінде деструкция көбінесе шамалы шамадағы жүктемелерден (әсіресе соққы жүктемелерінде) орын алады. Мәселен, мысалы, болат құймаларындағы жарықтар оларды пневматикалық балғамен және тіпті қыста тартылудан тазартқанда пайда болуы мүмкін (қалдықтарға термиялық кернеулердің қосылуына байланысты). Иілгіштігі төмен алюминий

қорытпаларынан жасалған жартылай үздіксіз құймалардың ірі құймалары, құю аяқталғаннан кейін біраз уақыттан кейін кездейсоқ шағын соққылардан немесе соққылардан жойылуы мүмкін; Деструкция кезінде бөлінетін серпімді энергияның үлкендігі соншалық, 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 істен шығуға жақын үлкен қалдық кернеулердің көрінісімен байланысты. Толық дәнекерленген кемелер, қалдық созылу кернеулерінен, болмашы сыртқы факторлардың әсерінен, мысалы, палубаны мұздан тазарту кезінде ломға соғудан құлаған жағдайлар бар.

Беттік қабаттардағы созылу қалдық кернеулері, әсіресе, ауыспалы жүктемеде жұмыс істейтін бөлшектер үшін зиянды, өйткені мұндай кернеулер шаршаудың бұзылуына ықпал етеді.

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

Қалдық кернеулері бар металда әртүрлі белгілердегі серпімді деформация аймақтары болады. Егер сіз өнімді кесіп тастасаңыз немесе оның беткі қабатын кесіп алсаңыз (сонымен қатар қан ағызсаңыз), макрострессстерді серпімді түрде жеңілдетуге болады. Қалдық кернеулердің шамасы мен белгісін анықтаудың механикалық әдістері алынған серпімді деформацияларды өлшеуге негізделген (кернеулер деформациялардан есептеледі).

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. Кесу кезінде әсіресе жиі және күшті бұрмаланулар пайда болады, өйткені металл қабатын жою қалдық кернеулердің тепе-теңдігін бұзады.

Материалдар мен әдістер

Бөлшектерді сақтау кезінде өлшемдердің өздігінен өзгеруі және деформациясы олардың босаңсуы кезіндегі қалдық кернеулердің бірге-бірге қайта бөлінуіне байланысты болады. Кернеулердің релаксация (азайту) жылдамдығы олардың бастапқы деңгейіне байланысты: ол неғұрлым жоғары болса, релаксация соғұрлым тезірек жүреді. Бұйым қимасының әртүрлі бөліктерінде қалдық кернеулердің шамасы әртүрлі болғандықтан, бөлме температурасында олардың босаңсу жылдамдығының тең емес болуына 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, секцияның әртүрлі учаскелеріндегі қалдық кернеулердің босаңсу дәрежесінің айырмашылығы соғұрлым көп және иілу кезінде бұйымның қаттылығы төмен болады. кейде, машиналарды жинағаннан кейін, бұрын бір-біріне дәл орнатылған

түйісетін бөліктерде рұқсат етілмейтін бос орындар немесе тығыздық пайда болады.

Жұмыс кернеулерінен алынып тасталған бақыланатын қалдық кернеулерді құру арқылы металдың өнімділік 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 беттерді өңдеу түрлері қолданылады.

Тәжірибелік зерттеулер мен практикалық тәжірибе негізінде қысу қалдық кернеулері шаршау беріктігін арттырады, ал созылу қалдық кернеулері қолайсыз әсер ететіні анықталды.

Қалдық кернеулердің төзімділікке әсері материалдың механикалық қасиеттеріне және кернеу күйінің сипатына байланысты. Беткі қабаттағы айтарлықтай қысу кернеулері кезінде шаршау беріктігінің жоғарылауы аз пластикалық материалдар үшін және кернеу концентрациясында көбірек көрінеді. Кейбір өңдеу түрлеріне тән беттік қабаттардағы қалдық кернеулердің шамасы мен белгісінің күрт өзгеруімен, әдетте тетіктің қажу беріктігін анықтайтын фактор 10 тереңдіктегі беттік қабаттағы қалдық кернеулер болып табылады. ... 20 микрон.

Сондай-ақ, егер жүктеме кезінде қалдық кернеулерді жеңілдететін пластикалық деформациялар пайда болатын кернеудің жоғарылауының кем дегенде бірнеше циклі болса, қалдық кернеулердің төзімділікке әсері көрінбеуі мүмкін екенін есте ұстаған жөн [1].

Кейбір жағдайларда, әсіресе беріктігі жоғары немесе қиын дәнекерленген материалдарды біртекті немесе гетерогенді комбинацияда дәнекерлеу кезінде дәнекерлеу кернеулері қосылыстардың соңғы қасиеттеріне теріс әсер етеді. Олар дәнекерленген жік пен жылу әсер ететін аймақтың құрылымының нашарлауы және пластикасының жоғалуы сияқты, жарықтарға, ал басқа қолайсыз факторлар (төмен температуралар, кернеуді концентраторлар) болған жағдайда - құрылымның сынғыш сынуына әкеледі. Пісіру ақаулары (кеуектер, шлак қосындылары және т.б.) кернеуді концентраторлар ретінде қызмет етеді. Олар қалдық кернеулердің зиянды әсерін күшейтеді, әсіресе ауыспалы жүктемелермен. Қалдық кернеулер конструкцияның қаттылығын төмендетуі мүмкін, сонымен қатар жұмыс жүктемелері болмаған кезде де кешіктірілген сынуға айтарлықтай әсер етеді (мысалы, титан мен цирконий негізіндегі қорытпалардан жасалған дәнекерленген қосылыстардағы гидридті түрлендірулер кезінде). Қалдық кернеулер болған жағдайда дәнекерленген қосылыстардың коррозияға төзімділігі төмендеуі мүмкін (мысалы, OT4 қорытпасында және т.б.) [2, 3].

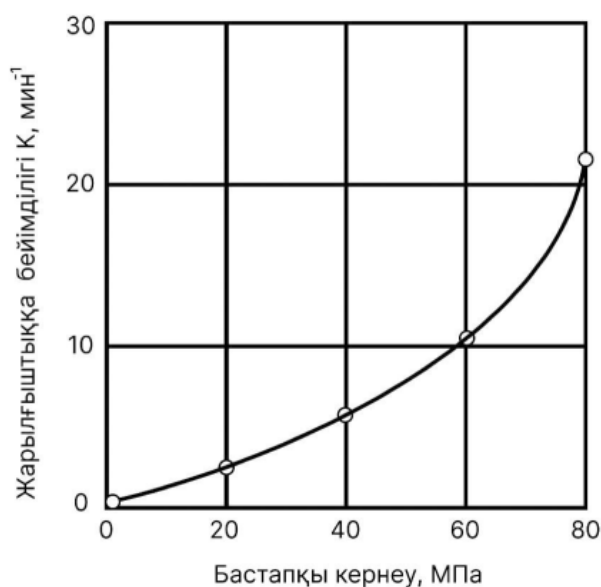
Беттік созылу қалдық кернеулері түйіршік аралық коррозияның дамуының маңызды факторы ретінде қарастырылады, мысалы, коррозияға төзімді болаттарда және жездегі кернеулі коррозия крекингінде.

Жұмыстарда [4, 5] жездің крекинг құбылысы жеткілікті түрде жан-жақты қарастырылған. Жасанды зертханалық ортада немесе ашық ауада жезді крекингке сынау кезінде жарықтар әрқашан созылу кернеулері әсер ететін беттің сол жерлерінде басталады. Керісінше, қысу кернеулері бар учаскелер крекингке

төзімді болды. Демек, жездің коррозиялық крекингі кезінде жарықтардың пайда болуы үшін бұйымдардың бетінде бірінші текті 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 снарядтардың жарылуын сынай отырып, «зақым металда зиянды кернеулер сақталатын қабықшаларда болады» деп тапты және «зақымдану неғұрлым маңызды болса, соғұрлым шиеленіс күшейеді. Жүргізілген тәжірибелер созылу кернеуінің жоғарылауымен сынақ ұзақтығының азаюын растады. Сынақтың бастапқы сәтінде 80 МПа созылу кернеуін тудыратын қолданылған күштің әсерінен күйдірілген жезден жасалған жолақтар 20 МПа-ға қарағанда 11 есе жылдам істен шықты. 1-суретте жездің созылу үрдісінің коэффициентінің созылу кернеуіне тәуелділігі көрсетілген. Күйдірген жез жолақтар сыналған, 10 % NH₃ құрамындағы Cu (OH)₂ қаныққан ерітіндісіне салынып, керілуге ұшыраған.



Сурет 1 – Жезді жарып жіберуге бейімділік созылу кернеуінің шамасына байланысты

1-Суретте, сынау ұзақтығының кері шамасы жездің жарылып кету бейімділігінің критерийі ретінде пайдаланылады. Крекинкке сезімталдық коэффициенті деп аталатын бұл мән үлгілердің бетінде алғашқы жарықтар пайда болғанша 100-ді сынақ ұзақтығына (минутпен) бөлу арқылы анықталады. Бобылев А. В. және басқа ғалымдар созылу кернеулері болмаған кезде жездің крекингі мүмкін емес деген тұжырым жасайды [5–7]. Тіпті «созылу кернеуінсіз жезді крекинг» жағдайларын мұқият қарастырғанның өзінде, мұндай әсердің шынымен болғаны анықталды. Мәселен, мысалы, толық қайта кристалдандырылған күйдіруге ұшыраған жез таспасының жарылуы және оның орамдарының қолайсыз жағдайларда

кейіннен сақталуы оның брошинг пештерінде күйдіруінен және бүктеу кезінде ондағы кернеулердің пайда болуынан туындаған. Дәл сол себепті күйдірілген жез жолақтардан оралған сақиналар жарылып кетуге бейім болды. Орамдарда күйдірілген жез сымның жарылуы катушкалардың осьтері көлденеңінен жауын-шашыннан қорғалмаған сарайда сақталуынан және өз салмағымен орамда созылу кернеулерінің пайда болуынан болды.

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

Жезден жасалған бөлшектерді немесе бұйымдарды сенімді қосылу үшін «кедергі бар» басқа бөлшектермен біріктіру өте үлкен қауіп болып табылады, өйткені бұл, мысалы, патрондардың мойындарында немесе электрлік құрылғылардың жезден жасалған «терминалдарында» созылу кернеуіне әкеледі. қарсылық.

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

Металл бұйымдарындағы қалдық кернеулердің деңгейін және таралуын тиімді бақылау түйіршікті аралық коррозияға (ТБК) төзімді коррозияға төзімді аустенитті болаттан жасалған құбырлар мен сымдарды өндірудің өзекті мәселесі болып табылады. Белгілі болғандай, НТМТ циклінде ыстық деформациядан кейін шұңқырға және түйіршік аралық коррозияға төзімділікті арттырудың ең үлкен әсері бастапқы шихтадан балқытылған 0,05 % С болатта байқалады [8].

Нәтижелер және талқылау

Өртүрлі әдістермен алынған нәтижелерді салыстыру келесі қорытындыға әкеледі. Аустенитті хром-никельді болаттарды жоғары таза шихтадан балқытқанда, ХҚҚ-ға төзімділікті арттыру үшін көміртегінің мөлшерін азайту қажет. Егер тот баспайтын хром-никельді болаттарды алудың арзан әдісіне жүгінсек – кәдімгі шихтадан балқыту, онда ХТТ циклінде болаттың реттелетін ыстық деформациясын қолдану арқылы ХҚҚ-ға төзімділіктің бірдей жоғарылауына қол жеткізуге болады.

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

Аустенитті болаттардың кернеулі коррозияға төзімділігі INK-1 қондырғысы арқылы қайнаған 42 % MgCl₂ ерітіндісінде ($p = 154^{\circ}\text{C}$) зерттелді [6]. Сынақтар LLM-4 V үлгілерінің бір осьтік керілу схемасы және тұрақты жүктемені қолдану бойынша жүргізілді. Кернеу мөлшері бөлме температурасында алдын ала созылу сынақтарының нәтижелері бойынша анықталды, бұл ретте σ_0 $\sigma_{0,2}$ белгілі бір бөлігі болып табылады. Жүктеме γ 10 Н дәлдікпен орнатылды. σ_0 істен шығу уақыты жазылды; кернеулі коррозия крекингіне төзімділік сипаттамасы стандартты ауытқуды ескере отырып, осы өңдеуден кейін үш үлгі үшін σ_0 орташа мәні ретінде қабылданды. Осылайша, 264 МПа (0,7 $\sigma_{0,2}$) тең кернеу болған жағдайда көміртегі

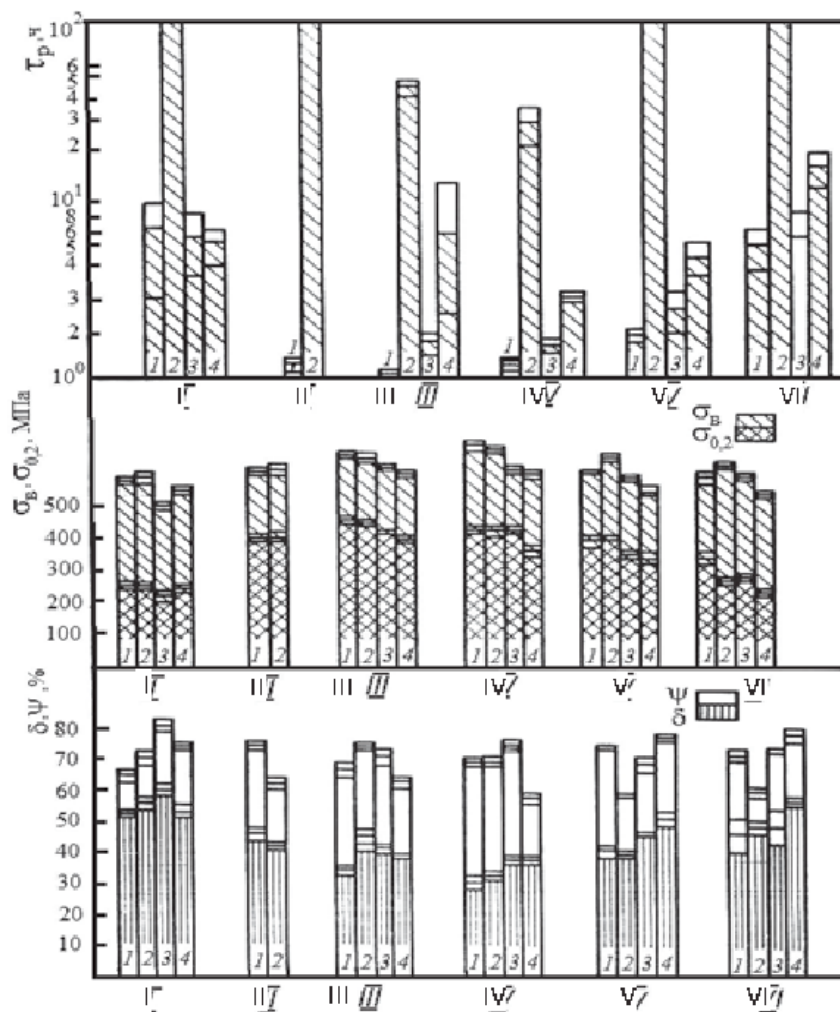
мөлшері 0,1 % болатын кәдімгі шихтадан балқытылған термомеханикалық қатайтылған Kh18 N12 T болатының кернеулі коррозия крекингіне (СКК) сынақтар кезінде сыну уақыты.) қалыпты шындалған күймен салыстырғанда 2,5 есе өсті (264 МПа шындалған болат үшін $1,2 \sigma_{0,2}$).

Қолданылатын кернеу деңгейінде, мысалы, $1,2 \sigma_{0,2}$ ($\sigma = 450$ МПа) дейін, СКК кедергісінің мұндай өсуі байқалмады. Ыстық өңделген болаттың істен шығу уақыты шындалған 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 SCC кедергісін басқа механикалық қасиеттермен, атап айтқанда, деформацияға төзімділік сипаттамаларымен бірге қарастыру керек.

Шындалған және ыстық деформацияланған Kh18 N12 T болатының кернеулі коррозияға крекингіне төзімділігін зерттеу нәтижелерін салыстыру графикалық түрде суретте көрсетілген 2.

Тұрақты қолданылатын кернеулердің әрекеті аустениттік хром-никельді болаттардың коррозиялық крекингі кезінде трансгранулярлық сынуды анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Жарықтың пайда болу сатысында кернеулер жергілікті пластикалық деформацияның деңгейін және сонымен бірге үлгі бетіндегі қорғаныс қабықшасының жергілікті бұзылуын анықтайды. Коррозия сызатының таралуы оның ұшының алдындағы пластикалық релаксация процестерімен байланысты.



Сурет 2 – Шындалған және ыстық өңделген болат X18N12T кернеулі коррозия крекингіне төзімділігі:

- I – стандартты катаю 1060 °C, 1 сағ, суда салқындату;
- II – ВТМО: $t_{\text{деф}} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 20 \%$;
- III – ВТМО: $t_{\text{деф}} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 60 \%$;
- IV – ВТМО: салқындату с 1115 °C до $t_{\text{деф}} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 60 \%$;
- V – ВТМО: $t_{\text{деф}} = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 60 \%$;
- VI — ВТМО: $t_{\text{деф}} = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 60 \%$

Жалпы жағдайда, кернеу деңгейінің жоғарылауымен және агрессивті ортаның бір мезгілде әрекет етуімен белсенді орталықтардың саны артып, металл бетіндегі коррозиялық жарықтардың пайда болуына және дамуына ықпал етеді.

Пайда болған жарықшақ дәннің тереңдігіне қандай қарқындылықпен таралатыны оның ұшына іргелес көлемдегі пластикалық релаксация ағынымен анықталады.

Қорытындылар

Жүргізілген зерттеулерге сүйене отырып, [9–14] авторлары аустениттік хром-никельді болаттардың кернеулі коррозия крекингіне төзімділігі беріктік пен иілгіштіктің қолайлы үйлесімімен анықталады деген қорытындыға келді. Осылайша, берілген агрессивті орта үшін кернеулі коррозия крекингі болаттың коррозиялық қасиеттеріне қарағанда механикалық сипаттама болып табылады.

Болат құбырлардың сапасына қалдық кернеулердің болуының, шамасы мен таралуының әсерін авторлар егжей-тегжейлі зерттеген [3]. 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 өңдеудің әртүрлі процестерінен кейін металда қалдық кернеулердің пайда болуы бұрыннан белгілі, алайда қалдық кернеулер сапа көрсеткіштерінде көрсетілмеген.

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 екпелермен қосылыстар алу, қорғаныс жабындарын иондық-плазмалық бүрку, металдарды қысыммен өңдеу процестері және т. б.). 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.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Чернышев, Г. Н., Попов, А. Л., Козинцев, В. М., Пономарев, И. И. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах. М.: Наука. Физматлит, 1996 – 240 с.

2 **Большаков, А. Н.** Теория резания для краевых зон. 5. Модель резания для зоны входа // Справочник. Инженерный журнал. – 2017. – № 12(249). – С. 43–47. – DOI 10.14489/hb.2017.12.pp.043-047.

3 **Чудина, А. А.** Влияние технологических факторов на характер распределения остаточных напряжений на поверхности заготовки в процессе резания // Главный механик. – 2021. – № 2. – С. 34–43. – DOI 10.33920/pro-2-2102-04.

4 Влияние элементов режимов резания на формирование остаточных напряжений при точении жаропрочных сплавов / Л. Р. Кильметова, С. Х. Хадиуллин, А. И. Дубин [и др.] // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2020. – Т. 24. – № 2(88). – С. 29–35.

5 Определение остаточных напряжений и коэффициентов интенсивности напряжений на основе локального удаления материала / С. И. Елеонский, И. Н. Одинцев, В. С. Писарев, С. М. Усов // Ученые записки ЦАГИ. – 2017. – Т. 48. – № 4. – С. 57–80.

6 **Ткачев, И. В., Иванов А. В.** Влияние способов гибки на остаточное напряжение обечаек // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. – № 3. – С. 10–12.

7 **Гринченко, М. И.** Метод определения механических остаточных напряжений и его перспективы для создания эталона единицы механического остаточного напряжения // Вестник метролога. – 2016. – № 4. – С. 19–23.

8 **Чернышев, Г. Н., Попов, А. Л., Козинцев, В. М.** Полезные и опасные остаточные напряжения // Природа. – 2002. – № 10. – С. 56–62.

9 **Третьяков, И. П.** Количественные характеристики напряженного и деформированного состояния в зоне резания // Вестник машиностроения. 1971. – № 4. – С. 35–47 с.

10 **Маслеников, И. А.** Определение остаточных напряжений на обработанной поверхности после токарной обработки пластичных материалов лезвийным инструментом // Металлообработка. – 2016. – № 4(94). – С. 2–10.

11 **Задворкин, С. М., Горулева, Л. С.** Оценка остаточных напряжений в стальных изделиях магнитными методами // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2021. – № 2. – С. 33–51.

12 Методика оценки прочности железнодорожных колес / Р. Ю. Зарипов, Н. С. Сембаев, К. Б. Адильбекова, Ж. Т. Аубакирова // Наука и техника Казахстана. – 2018. – № 3. – С. 48–63.

13 Проблемы выбора технологии обработки нововнедренных материалов в производство / Д. Т. Ходжибергенов, К. Т. Шеров, А. Ж. Касенов, У. Д. Хожибергенова // Наука и техника Казахстана. – 2018. – № 2. – С. 111–117.

14 Вероятностная модель распределения дефектов при последовательном двукратном технологическом воздействии с учетом фактора технологической наследственности / А. И. Денчик, Ж. К. Мусина, А. Ж. Касенов [и др.] // Наука и техника Казахстана. – 2022. – № 3. – С. 22–36. – DOI 10.48081/GIJE7083.

REFERENCES

1 **Chernyshev, G. N., Popov, A. L., Kozintsev, V. M., Ponomarev, I. I.** Ostatochnyye napryazheniya v deformiruyemykh tverdykh telakh [Residual stresses in deformable solids]. M. : Science. Fizmatlit, 1996 – 240 p.

2 **Bol'shakov, A. N.** Teoriya rezaniya dlya krayevykh zon. 5. Model' rezaniya dlya zony vkhoda [Theory of cutting for edge zones. 5. Cutting model for the entry zone] // Handbook. Engineering Journal. – 2017. – № 12(249). – P. 43–47. – DOI 10.14489/hb.2017.12.pp.043-047.

3 **Chudina, A. A.** Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov na kharakter raspredeleniya ostatochnykh napryazheniy na poverkhnosti zagotovki v protsesse rezaniya [Influence of technological factors on the nature of the distribution of residual stresses on the surface of the workpiece during cutting] // Chief Mechanic. – 2021. – № 2. – P. 34–43. – DOI 10.33920/pro-2-2102-04.

4 Vliyaniye elementov rezhimov rezaniya na formirovaniye ostatochnykh napryazheniy pri tochenii zharoprochnykh splavov [Influence of elements of cutting modes on the formation of residual stresses when turning heat-resistant alloys] / L. R. Kilmotova, S. Kh. Khadiullin, A. I. Dubin [et al.] // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. – 2020. – T. 24. – № 2 (88). – P. 29–35.

5 Opreddeniye ostatochnykh napryazheniy i koeffitsiyentov intensivnosti napryazheniy na osnove lokal'nogo udaleniya materiala [Determination of residual stresses and stress intensity factors based on local material removal] / S. I. Eleonsky, I. N. Odintsev, V. S. Pisarev, S. M. Usov // Uchenye zapiski TsAGI. – 2017. – T. 48. – № 4. – P. 57–80.

6 **Tkachev, I. V., Ivanov, A. V.** Vliyaniye sposobov gibki na ostatochnoye napryazheniye obechayek [Influence of bending methods on the residual stress of shells] // Forging and stamping production. – 1995. – № 3. – P. 10–12.

7 **Grinchenko, M. I.** Metod opredeleniya mekhanicheskikh ostatochnykh napryazheniy i yego perspektivy dlya sozdaniya etalona yedinitsey mekhanicheskogo ostatochnogo napryazheniya [Method for determining mechanical residual stresses and its prospects for creating a standard unit of mechanical residual stress] // Vestnik metrologa. – 2016. – № 4. – P. 19–23.

8 **Chernyshev, G. N., Popov, A. L., Kozintsev, V. M.** Poleznyye i opasnyye ostatochnyye napryazheniya [Useful and dangerous residual stresses] // Priroda. – 2002. – № 10. – P. 56–62.

9 **Tretyakov, I. P.** Kolichestvennyye kharakteristiki napryazhennogo i deformirovannogo sostoyaniya v zone rezaniya [Quantitative characteristics of the stress and strain state in the cutting zone] // Bulletin of mechanical engineering. 1971. – № 4. – P. 35–47 p.

10 **Maslenikov, I. A.** Opreddeniye ostatochnykh napryazheniy na obrabotannoy poverkhnosti posle tokarnoy obrabotki plastichnykh materialov lezviynym instrumentom [Determination of residual stresses on the machined surface after turning plastic materials with a blade tool] // Metallobrabotka. – 2016. – № 4 (94). – P. 2–10.

11 **Zadvorkin, S. M., Goruleva, L. S.** Otsenka ostatochnykh napryazheniy v stal'nykh izdeliyakh magnitnymi metodami [Evaluation of residual stresses in steel products by magnetic methods] // Problems of mechanical engineering and reliability of machines. – 2021. – № 2. – P. 33–51.

12 Metodika otsenki prochnosti zhelezodorozhnykh koles [Methods for assessing the strength of railway wheels] / R. Yu. Zaripov, N. S. Sembaev, K. B. Adilbekova, Zh. T. Aubakirova // Science and technology of Kazakhstan. – 2018. – № 3. – P. 48–63.

13 Problemy vybora tekhnologii obrabotki novovnedrennykh materialov v proizvodstvo [Problems of choosing a technology for processing newly introduced materials into production] / D. T. Khodzhibergenov, K. T. Sherov, A. Zh. Kasenov, U. D. Khozhibergenova // Science and technology of Kazakhstan. – 2018. – № 2. – P. 111–117.

14 **Denchik A. I., Musina Zh. K., Kasenov A. Zh.** [et al.] Veroyatnostnaya model' raspredeleniya defektov pri posledovatel'nom dvukratnom tekhnologicheskom vozdeystvii s uchetom faktora tekhnologicheskoy nasledstvennosti [Probabilistic model of defect distribution under sequential double technological impact taking into account the factor of technological heredity] // Science and technology of Kazakhstan. – 2022. – № 3. – P. 22–36. – DOI 10.48081/GIJE7083.

Материал 06.02.23 баспаға түсті.

Ж. Н. Абілқайыр¹, * А. Т. Турдалиев², А. Т. Альпеисов³

^{1,3}Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы;

²Казахский университет путей сообщения, Республика Казахстан, г. Алматы.

Материал поступил в редакцию 06.02.23.

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В данной статье рассмотрены значения остаточных напряжений, влияние остаточных напряжений на эксплуатационные свойства металлических изделий и вредное воздействие остаточных напряжений. На основе экспериментальных исследований и практического опыта было обнаружено, что остаточные напряжения сжатия увеличивают усталостную прочность, а остаточные напряжения растяжения оказывают неблагоприятное воздействие. Влияние остаточных напряжений на сопротивление зависит от механических свойств материала и характера напряженного состояния. Машиностроение – это применение методов и принципов решения задач от проектирования до производства для любого объекта. Специалисты в области машиностроения анализируют свою работу с применением принципов физики, гарантируя, что конструкции будут работать надежно, безопасно и эффективно, а также по конкурентоспособным ценам.

Одной из основных отраслей промышленности является машиностроение, на долю которого приходится около 35 % всей продукции. Уровень развития машиностроения определяет уровень научно-технического прогресса (НТП) во всех отраслях народного хозяйства. Машиностроение позволяет обеспечить

все отрасли машинами, технологическим оборудованием и инструментами. Станкостроение-основная отрасль машиностроения, определяющая НТП в современном мире и требующая высококвалифицированных специалистов и преимущественно развитой промышленности страны. Вопросы прочности и износостойкости являются основными проблемами ресурсобеспечения в машиностроении. Поэтому необходимы глубокие знания современных методов расчета прочности, износостойкости и надежности.

Прочность и надежность изделия устанавливаются на этапе проектирования. Конструкция, технология изготовления, проведение ТО и используемые материалы должны быть взаимосвязаны и обусловлены. Это основа построения всей цепочки процесса создания новых деталей и машин. При модернизации машин не допускается произвольное изменение только материала, конструкции или технологии. Невыполнение этих условий автоматически сделает все остальные требования и критерии к качеству машин несущественными. Характеристики поверхностного слоя материалов деталей оказывают решающее влияние на эксплуатационные свойства деталей изделия.

Ключевые слова: напряжения, остаточные напряжения, износ, обработка, деформация, изгиб, трещина, сталь, растяжение.

Zh. N. Abilkair¹, *A. T. Turdaliev², A. T. Alpeisov³

^{1,3}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty;

²Kazakh Railway University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 06.02.23.

THE EFFECT OF RESIDUAL STRESSES ON THE OPERATIONAL PROPERTIES OF METAL PRODUCT

This article discusses the values of residual stresses, the effect of residual stresses on the operational properties of metal products and the harmful effects of residual stresses. Based on experimental studies and practical experience, it was found that residual compression stresses increase fatigue strength, and residual tensile stresses have an adverse effect. The effect of residual stresses on resistance depends on the mechanical properties of the material and the nature of the stress state. Mechanical engineering is the application of methods and principles for solving problems from design to production for any object. Specialists in the field of mechanical engineering analyze their work using the principles of physics, ensuring that the structures will work reliably, safely and efficiently, as well as at competitive prices.

One of the main industries is mechanical engineering, which accounts for about 35 % of all production. The level of development of mechanical engineering determines the level of scientific and technological progress (STP) in all sectors of the national economy. Mechanical engineering makes it possible to provide all industries with machines, technological equipment and tools. Machine tool construction is the main branch of mechanical engineering that defines the scientific and technological progress in the modern world and requires highly qualified specialists and a predominantly developed industry of the country. The issues of strength and wear resistance are the main problems of resource supply in mechanical

engineering. Therefore, deep knowledge of modern methods of calculating strength, wear resistance and reliability is necessary.

One of the main industries is mechanical engineering, which accounts for about 35 % of all production. The level of development of mechanical engineering determines the level of scientific and technological progress (STP) in all sectors of the national economy. Mechanical engineering makes it possible to provide all industries with machines, technological equipment and tools. Machine tool construction is the main branch of mechanical engineering that defines the scientific and technological progress in the modern world and requires highly qualified specialists and a predominantly developed industry of the country. The issues of strength and wear resistance are the main problems of resource supply in mechanical engineering. Therefore, deep knowledge of modern methods of calculating strength, wear resistance and reliability is necessary.

The strength and reliability of the product are established at the design stage. The design, manufacturing technology, maintenance and materials used must be interconnected and conditioned. This is the basis for building the entire chain of the process of creating new parts and machines. During the modernization of machines, arbitrary changes in only the material, design or technology are not allowed. Failure to comply with these conditions will automatically make all other requirements and criteria for the quality of machines irrelevant. The characteristics of the surface layer of the materials of the parts have a decisive influence on the operational properties of the parts of the product.

Keywords: stresses, residual stresses, wear, processing, deformation, bending, crack, steel, stretching.

Теруге 06.02.23 ж. жіберілді. Басуға 30.03.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 3998

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz