

**Спабекова Р.С.,\* Әбекова Р.С., Винтайкин Б.Е.**

химия ғ.к., доцент М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан  
физ-матем.ғ.к., доцент, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан  
физ-матем.докторы, профессор, Н.Ә.Бауман МГТУ, Москва, Ресей

## **ПІШІНДІ ЕСТЕ САҚТАУ ҚАБІЛЕТІ БАР НИКЕЛЬ-ТИТАН НЕГІЗІНДЕГІ ҚОРЫТПАЛАРДЫҢ ТӘЖІРИБЕЛІК ҚОЛДАНЫЛУЛАРЫ**

Автор корреспондент: [roza\\_314@mail.ru](mailto:roza_314@mail.ru)

**Түйін:** Қолдану және зерттеу тұрғысынан пішінді есте сақтау қасиеті болатын материалдар арасында нитинол көшбасшы болып табылады. Пішінді есте сақтау қасиеті бар қорытпалар негізіндегі көпфункционалды материалдар қазіргі таңда энергетика саласында, ғарышта, машина жасауда, робототехникада және медицинада көп қолданылуда.

Нитинолдағы пішінді есте сақтау эффектісі - бұл физикалық құбылыс, онда пластикалық деформацияланған металл өзінің формасын қыздырғанда қалпына келтіреді. Нитинолдың пішінді есте сақтау эффектісі аустенит фазасынан мартенсит фазасына полиморфты өзгеру кезінде кристалдық тордың өзгеруіне байланысты мүмкін болады.

Мақалада пішінді есте сақтаудың жақсы сипаттамаларын алу үшін оңтайлы деформация мәні, термиялық өңдеу режимі, құрылымдық элементтің жұмыс циклыларының саны, жүктемесі, пішіні және өлшемдері сияқты көптеген жағдайлар келтірілген.

**Кілттік сөздер:** қорытпа, пішінді есте сақтау эффектісі, нитинол, титан никелиді пластикалық деформация, термиялық өңдеу режимі, серіппелі қалпына келтіру, фазалық түрлендіру, аустенит фазасы, мартенсит фазасы.

**Кіріспе.** Титан мен никельдің тең пропорциядағы қорытпасы (45% және 55%) нитинол немесе титан никелиді деп аталады. Бұл қорытпа бастапқы пішінді есте сақтау және асқын серпімділік сияқты қасиеттерге ие. Қорытпалардың асқын серпімділік қасиеті қыздыру кезінде бір құрылымдық ішкі күйден екіншісіне ауысу кезінде көрінеді. Фазалық ауысу мәніне жеткенде қорытпа серіппе сияқты өзінің бастапқы түріне қайта алады.

Нитинол өз атауын 1959 жылы Ni - никель және Ti - титан материалдарына алғаш рет алынған зертхананың атауларын қосу арқылы алды (nol - Naval Ordnance лабораториясы). Пішінді есте сақтау эффектісі - бұл нитинолдың бір температурада деформацияға ұшырап, сонан кейін «фазалық түрлендіру температурасынан» жоғары температураға дейін қыздырылған кезде бастапқы, бұрмаланбаған пішінін қалпына келтіру қабілеті. [1].



Нитинолдағы пішінді есте сақтау эффектісі - бұл физикалық құбылыс, онда пластикалық деформацияланған металл өзінің формасын қыздырғанда қалпына келтіреді. Кейде екі түрлі температурада металл екі түрлі пішінді «есте алады». Егер сіз кәдімгі металл сымды алып, оны пластикалық түрде бүкसेңіз, онда сіз оны кері бағытта деформациялау арқылы ғана сымды бастапқы қалпына келтіре аласыз. 1-сурет. Нитинолдың пішінді есте сақтау эффектісі.

**Теориялық талдау.** Асқын серпімділік қасиеті фазалық ауысу температурасының дәл үстінде орналасқан тар температура шеңберінде көрінеді: бұл жағдайда өнімнің бастапқы пішінін қалпына келтіру үшін қыздыру қажет емес, ал оның материалы өте жоғары икемділікке ие, 10-дан 30 есеге дейін әдеттегі металдан жоғары. [2-3].

Бастапқы пішін сымға немесе бұйымға жоғары температурада дайындау кезінде беріледі. Сонан кейін металл салқындатылады, ал оның ішкі құрылымы (кристалдық тор)

өзгереді. Салқындатылған күйде сым немесе бұйым жаңа формаға ие бола отырып, пластикалық деформацияға оңай ұшырайды. Алайда, егер олар қыздырылса, онда олардың ішкі құрылымы өзгереді және олар өздерінің бастапқы формаларын «еске түсіреді». Бұл жағдайда барлық пластикалық деформациялар жоғалады, ал үлгі механикалық жұмыстарды жеткілікті түрде орындай алады, мысалы, жүкті көтеру үшін. Алайда, бұл дегеніміз деформацияланған қорытпалар өз формаларын температураның жоғарылауымен ерікті түрде толығымен қалпына келтіреді дегенді білдірмейді. Кейбір деформациялау әдістері кезінде қалдық деформация қалады.

Қорытпаның деформациясы кезінде серпімді деформациядан кейін металдың ағуы өтеді. Кернеу шамасы тұрақты болады. Көлденең қимадағы деформация сырғанау деформациясы емес, белгілі бір типтегі екіге бөліну әсерінен болады, бірақ сыртқы түрі бойынша ол қарапайым пластикалық деформациядан ерекшеленбейді.

**Тәжірибелік бөлім.** Пішінді еске сақтаудың жақсы сипаттамаларын алу үшін деформация белгілі бір мөлшерден аспауы керек. Оңтайлы деформация мәні термиялық өңдеу режимі, құрылымдық элементтің жұмыс циклдарының саны, жүктемесі, пішіні және өлшемдері сияқты көптеген жағдайларға байланысты, бірақ тұтастай алғанда жұмыс циклдарының аздығымен оңтайлы деформация  $T_i - N_i$  қорытпасы - 6%,  $Cu - Ag - Al$  қорытпасы үшін -  $\sim 2\%$ . Көптеген жұмыс циклдары кезінде бұл мәндер сәйкесінше  $< 2$  және  $0,5\%$  дейін төмендейді.

Шамадан тыс деформация және ұқсас себептер бойынша шектеулі күйде шамадан тыс қыздыру, яғни жоғары температураға дейін қыздыру ( $T_i - N_i$  қорытпалары үшін  $> 60^\circ C$ ,  $Cu - Ag - Al$  қорытпалары үшін  $> 30^\circ C$ ) қажет емес. Егер жүктің ауырлық күші қорытпа ағыны басталатын күшпен салыстырғанда үлкен болса, онда спираль қалай қыздырылса да, жүк көтерілмейді.

Қызып кету басқа себептер бойынша да қажет емес. Егер қорытпа ұзақ уақыт бойы жоғары температурада ұсталса, онда бұл реттелмеген температура кезінде қорытпа өзінің формасын толық еске түсірмейді, яғни. пішінді нақты қалпына келтіру жоқ, «есте сақтау дәлдігі» жоқ. Егер  $T_i - N_i$  қорытпалары ұзақ уақыт бойы  $T > 250^\circ C$ , ал  $Cu - Ag - Al$  қорытпалары  $T > 90^\circ C$  температурасында ұсталса, онда қорытпалардың беріктігіне карамастан, мұндай ұстаудың теріс әсері анықталды [4-5].

Нитинол өзінің қасиеттеріне байланысты суық кезінде нашар өңделеді. Серпімділіктің мәнінің үлкен болуы үйкеліс күшін жоғарылатады және қорытпа илемдеу біліктерімен контактіге түскен кезде тозудың жоғарылауын тудырады. Кесіп өңдеу кезінде қаттылығы жоғары материалдар қажет. Жылу өткізгіштігінің төмендігі дайындамадан жылудың кетуіне жол бермейді.

Нитинол қорытпасы абразивті материалдармен өңдеуге - ұнтақтауға, сондай-ақ электроэрозивтік және термиялық өңдеуге жақсы беріледі. Материалды кесу абразивті немесе лазерлік әдістермен жүзеге асырылады. Ішкі фазалық өзгерістердің температуралық диапазонын реттейтіндігіне байланысты термиялық өңдеуге ерекше талаптар қойылады. Температура мен ұстау уақыты никельмен байытылған фазалардың пайда болуына жауап береді. Матрицадағы никель молекулалары санының азаюымен фазалық өзгерулердің температуралық шегі артады. Нитинолға сәйкес қасиеттерді беру әдістері суық және термиялық өңдеулерді біріктіру арқылы жүзеге асырылады. Нитинолдың негізгі қасиеттерін реттеу дәл осылай жүргізіледі.

Нитинолдың негізгі мақсатының сипаттамасы (бастапқы формасын қалпына келтіру) келесі түрлерге бөлінеді:

-еркін қалпына келтіру. Төмен температурадағы өзгерген форма қыздыру арқылы қалпына келеді.

-еріксіз қалпына келтіру. Қорытпа ішінде жүретін процестер бірінші типке ұқсас, бірақ қалпына келтіру оны әдейі басқан кезде пайда болады. Бұл жағдайда айтарлықтай ішкі кернеулер пайда болады.

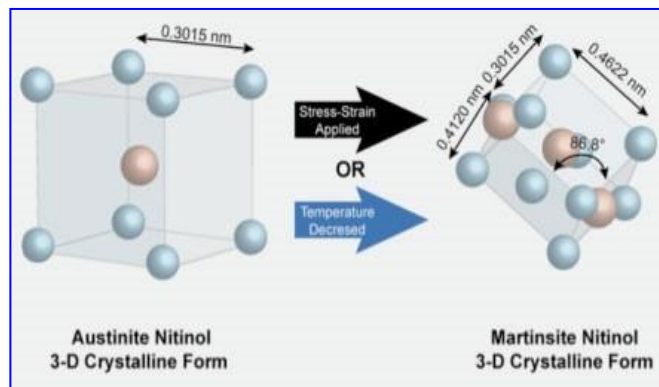
-серіппелі қалпына келтіру. Өнімді нитинолдан қалпына келтіру кезінде, ол басқа

затты динамикалық түрде ауыстырады.

### Нәтижелер мен талқылау.

Материалдардың қажетті пропорциясын ұстап тұру нитинолдың өндірісін қиындатады, ал еріген кезде титан оттегімен, көміртегімен және азотпен оңай әрекеттеседі. Өзара әрекеттесу кезінде титан молекулалары кристалдық тордан шығады, ал фаза өзгерісінің температуралық шегі төмендейді.

Нитинолдың пішінді есте сақтау эффектісі аустенит фазасынан мартенсит фазасына полиморфты өзгеру кезінде кристалдық тордың өзгеруіне байланысты мүмкін болады. 2-сурет. Нитинолдың фазалық өзгеру сызбасы.



Қыздырылған қорытпа бастапқы аустенит фазасына ие болады. Қорытпа температурасының төмендеуімен бастапқы фаза өздігінен туынды фазаға - мартенситке өтеді. Процесс қайтымды, сондықтан суық нитинолды қыздырғанда фазалық ауысу кері тәртіпте жүреді. Сонымен қатар, түрлену жылдамдығы секундтың бір бөлігінде өтеді.



Фазалық өзгерістердің басталуы мен аяқталуы арасындағы температура интервалдары аустенит үшін  $A_n$ ,  $A_k$  және мартенсит үшін  $M_n$ ,  $M_k$  нүктелерімен өрнектеледі. Температура диапазоны шамамен  $30^\circ\text{C}$  құрайды. 3-сурет. Температураның қайтымды мартенситтік ауысулары бар қорытпалардың фазалық құрамына әсері.

Нитинолға негізделген басқа қорытпалар да пішінді есте сақтау эффектісіне ие. Нитинолдан басқа, шамамен 20 пішінді есте сақтау қорытпалары белгілі, ең алдымен  $\text{Cu} - \text{Zn} - \text{Al}$ ,  $\text{Fe} - \text{Mn} - \text{Si}$  туралы айту керек. Оған  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Co}$  сияқты химиялық элементтер енгізілгенде мартенситтік өзгерудің температуралық диапазоны  $-190^\circ\text{C}$ -қа дейін төмендейді. Керісінше,  $\text{Zn}$ ,  $\text{No}$ ,  $\text{Ta}$  бұл шаманы  $100^\circ\text{C}$ -қа дейін арттырады[6-7].

**Қорытынды.** Қолдану және зерттеу тұрғысынан пішінді есте сақтау материалдар арасында нитинол көшбасшы болып табылады. Пішінді есте сақтау қорытпалары, ең алдымен, құбыр байланыстырғыштары үшін бір бағытты есте сақтау элементтері ретінде пайдаланылды. Қазіргі таңда энергетика саласында, ғарышта, машина жасауда, робототехникада және медицинада қажетті қасиеттері бар көпфункционалды материалдар - сыртқы факторлармен жұмыс жағдайларының (температура, механикалық жүктеме және т.б.) әсерінен пішінді есте сақтау қорытпаларынан жасалған материалдар көбірек қолданылуда.

Машина жасауда, робототехникада: дайындаманы ұстауға арналған ұстағыштар; температура компенсаторлары; діріл сөндіргіштер, демпферлер; роботтарға арналған жасанды бұлшықеттер; квази-нөлдік қаттылық коэффициенті бар серіппелер; ұзақ қызмет ету мерзімі бар мембраналар қолданылады[8-10].

Тұрмыстық техникада, жеңіл өнеркәсіпте: погребтерге, гараждарға, қоймаларға арналған температура реттегіштері; тоңазытқыштарға арналған фреонсыз реттегіштер; аралас құлыптар; есік жапқыштары; автоматты қақпаларға, есіктерге, терезелерге арналған жетектер; әжімдерсіз зергерлік бұйымдар; өздігінен жүретін ойыншықтарға арналған дискілер; электр құрылғыларына арналған термостаттар (үтік, шайнек, кофе қайнатқыш және т.б.); кесу құралдары (пышақтар); су көтеретін сорғылар.

Салқындатуға және жылытуға арналған кондиционер. Функциялары жылу құбырларына ұқсас болатын ауаны салқындатуға және жылытуға арналған әмбебап кондиционерлер ауа температурасын жыл бойына тиімді реттейді.

Медицинада: нитинол қысқыштарының көмегімен сынған сүйектер жалғанады және түзетіледі. Нитинол спиралы адам ағзасындағы зақымдалған тамырлардың көлденең қимасын қалпына келтіруге қабілетті. Стоматологияда да бұл қорытпа қолданылады.

#### Әдебиеттер тізімі:

1. Ооцука К., Симидзу К., Судзуки Ю. М.: Металлургия. Перевод с японского И.И.Дружинина. под редакцией А.М.Глезера. 1990г.С.4 5-52., 121-132.
2. Пятова Т. Сплавы с памятью формы. Никелид титана и его свойства. Ozon.ru.2013г.
3. Физические основы пластической деформации. Термомеханическая обработка и применение сплавов с памятью формы на основе никелида титана | Коллектив авторов. Уч. пособие. Изд-во НИТУ МИСиС.2020г.
4. Курдюмов Г.В., Хандрос Л.Г. Открытие № 239. Явление термоупругого равновесия фаз при фазовых превращениях мартенситного типа (эффект Курдюмова). Металлофизика, 1981, т.3, №2, С.115.
5. Хандрос Л.Г., Арбузова И.А, Мартенситное превращение, эффект памяти формы и сверхупругость. В кн.: Металлы, электроны, решетка. Киев: Наукова думка, 1975. 108.
6. Винтайкин Б.Е.Мартенситные превращения. В кн.: Итоги науки и техники. Металловедение и термическая обработка. М.: ВИНТИ, 1983, т. 17, С. 44-51.
7. Хачин В.Н. Память формы. М.: Знание, 1984. С.82.
8. Гюнтер В.Э. и др. Применение сплавов с памятью формы в медицине. Известия вузов. Физика, 1985, № 5. С. 115-125.
9. Журавлев В.Н., Пушин В.Г. Сплавы с термомеханической памятью и их применение в медицине.Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 150 с.
10. Маслов С.А., Ярема И.В., Данилевская О.В. нитинол-медицинский материал нового поколения // современные наукоемкие технологии. 2007, № 11. С.45-52.

**Аннотация.** Благодаря своим уникальным качествам нитинол получил практическое применение во многих сферах нашей жизни.

В нитиноле проявляется эффект памяти формы - физическое явление, при котором пластически деформированный металл восстанавливает свою первоначальную форму. Эффект памяти формы нитинола стал возможен благодаря изменению кристаллической решетки во время полиморфного превращения из фазы аустенита в фазу мартенсита. Память формы – это способность нитинола подвергаться деформации при одной температуре, а затем восстанавливать свою исходную, неискаженную форму при нагреве до температуры, превышающей так называемую «температуру фазового превращения».

Оптимальная величина деформации зависит от многих условий, таких как режим термообработки, число циклов работы, нагрузка, форма, и размеры конструкционного элемента.

**Ключевые слова:** сплав, эффект запоминания формы, нитинол, пластическая деформация никеля титана, режим термической обработки, восстановление пружины,

**Abstract.** Due to its unique qualities, nitinol has found practical application in many areas of our life. In nitinol, the shape memory effect is manifested - a physical phenomenon in which a plastically deformed metal restores its original shape. The shape memory effect of nitinol became possible due to the change in the crystal lattice during the polymorphic transformation from the austenite phase to the martensite phase. Shape memory is the ability of nitinol to undergo deformation at one temperature, and then restore its original, undistorted shape when heated to a temperature exceeding the so-called "phase transformation temperature". The optimal amount of deformation depends on many conditions, such as the heat treatment mode, the number of operating cycles, load, shape, and dimensions of the structural element. Practical use of nickel and titanium-based alloys in mechanical engineering, medicine, engineering and robotics. In recent years, alloys of multifunctional materials with special properties have been widely used in various branches of mechanical engineering, technology and medicine.

**Keywords:** alloy, shape memory effect, nitinol, titanium nickel plastic deformation,