



TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SCHOOL OF ENGINEERING

Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

DEVELOPMENT AND FABRICATION OF 3/2-WAY SHAPE MEMORY ALLOY DRIVEN MICROVALVES FOR MEDICAL AND BIOMEDICAL APPLICATIONS

BIOMEDITSIINILISEKS JA MEDITSIINILISEKS KASUTAMISEKS MÕELDUD 3/2-SUUNALISE KUJU-MÄLU SULAMIGA JUHITAVATE MONOSTABIILSETE MIKROVENTIILIDE VÄLJATÖÖTAMINE JA VALMISTAMINE

MASTER THESIS

Student: Liberty TAKAWIRA

Student Code: 195431MAHM

Supervisors: Hinnerk Oßmer, PhD, Managing Director (memetis GmbH)

Bahman Moradi, MSc. Project Engineer (memetis GmbH)

Co-Supervisor: Dmitry Shvarts, PhD, Research Scientist (TalTech)

Tallinn 2021

6 SUMMARY

6.1 Conclusion

This thesis demonstrates in detail the development and fabrication of SMA-driven monostable 3/2-way and 4/2-way valves allowing to mix and switch between two fluid channels using materials and manufacturing technologies that fit biomedical applications. These microvalves use the same standard size NiTiCu shape memory actuators of 20 μ m thickness bought from a manufacturer, already in the required shape which is standard actuator design used for all microvalve variants at memetis GmbH. Two such actuators are stapled in order to achieve sufficient force for operating the valve up to the targeted maximum pressure. The initial prototypes of the 4/2-way monostable SMA-driven microvalves can operate at pressures of up to 2 bar and can dose either gas or water of 1700 ml/min air and 90ml/min liquid with the switching time of approximately 0.05 s at 1 bar at current consumption of 500 mA. In this work, first various monostable switching mechanism concepts are generated and the most suitable is selected. These novel microvalves are developed with the inspiration of following a rocker mechanism which allows monostable operation of the microvalves. The rocker mechanism is actuated by a NiTiCu-based SMA actuator on one end and a counteracting pre-strained spring on the other end. To develop this monostable switching mechanism, different components are developed, designed and fabricated, such as rocker bar, rocker, etc. These components are first investigated individually in order to gain a basic understanding of their functioning. The mechanism is integrated into a microfluidic part to create a full media-separated microvalve in which the rocker ends, as a result of actuation, moves upwards and downwards, thereby pressing one of two spherical plungers (ceramic balls) onto a cylindrical valve inlet and closes them one at a time. All components, that are in direct contact with the fluid such as the fluidic part and membrane are made of biocompatible materials. Silicone is proved suitable as membrane material and PMMA is selected as material for the fluidic part. The developed valve mechanism is used to realize a 4/2-way valve having two inlets and two outlets, as well as a 3/2-way valve having two inlets and a single common outlet.

6.2 Outlook

Future versions of the developed 4/2-way monostable SMA-driven microvalve can be developed with various connection methods such as tubing connector and push fitting connector to fit various customer related needs. Further optimisation of the valve is still possible if advanced manufacturing methods are implemented, for example injection

moulding. If possible biomedically compatible resin can be used as an alternative for the material selected for the manufacturing of the fluidic part of the valves. This would mean the use of 3D printing technology which is cheaper and faster as compared to milling. In addition, future versions, of this valve can be developed and fabricated with flow sensors directly integrated in the valve which enables a better control system. In the case of a 3/2-way SMA-driven microvalve which has 2 inlets and 1 outlet, a microfluidic mixer can be directly integrated into the valve's outlet channel. Overall, the switching mechanism implemented in this valve works very well. The SMA actuator used has significant force which is sufficient to control up to 2 bar of pressure on the valve's inlet.

7 SUMMAARIA

7.1 Kokkuvõte

Käesolevas väitekirjas näidatakse üksikasjalikult SMA-mootoriga monostabiilsete 3/2-suunaliste ja 4/2-suunaliste klappide väljatöötamist ja valmistamist, mis võimaldavad segada ja vahetada kahe vedelikukanali vahel, kasutades biomeditsiinilistele rakendustele sobivaid materjale ja tootmistehnoloogiaid. Nendes mikroventiilides kasutatakse sama standardse suurusega NiTiCu vormimälu ajamid paksusega 20 µm, mis on juba nõutava kujuga ja mida kasutatakse memetis GmbH-s kõikide mikroventiilide variantide puhul standardse ajamidekujundusega. Kaks sellist ajamit on ühendatud, et saavutada piisav jõud ventiili käitamiseks kuni maksimaalse sihtrõhuni. Esialgseid 4/2-käigulise monostabiilse SMA-mootoriga mikroventiilide prototüübid võivad töötada kuni 2 baari rõhul ja doseerida kas gaasi või vett 1700 ml/min õhku ja 90 ml/min vedelikku, kusjuures lülitusaeg on umbes 0,05 s 1 baari juures voolutarbimise juures 500 mA. Käesolevas töös genereeritakse kõigepealt erinevad monostabiilse lülitusmehhanismi kontseptsioonid ja valitakse välja kõige sobivam. Need uudsed mikroventiilid on välja töötatud, järgides kiikumismehhanismi, mis võimaldab mikroventiilide monostabiilset tööd. Kippmehhanismi käivitatakse NiTiCu-põhise SMA-taktuaatori abil ühes otsas ja vastukaaluks eelpingestatud vedru abil teises otsas. Selle monostabiilse lülitusmehhanismi väljatöötamiseks on välja töötatud, projekteeritud ja valmistatud erinevaid komponente, nagu näiteks kiikeraud, kiikur jne. Neid komponente uuritakse kõigepealt eraldi, et saada põhiline arusaam nende toimimisest. Mehhanism integreeritakse mikrofluidikasse, et luua täielik meediumiga eraldatud mikroventiil, mille kiikede otsad liiguvad käivitamise tulemusel üles ja alla, surudes seeläbi ühe kahest sfäärilisest kolbist (keraamilised kuulid) silindrilise klapi sisselaskeava peale ja sulgedes need ükshaaval. Kõik vedelikuga otseselt kokkupuutuvad komponendid, nagu fluidiline osa ja membraan, on valmistatud bioloogiliselt sobivatest materjalidest. Membraani materjaliks on sobivaks osutunud silikoon ja fluidilise osa materjaliks on valitud PMMA. Välja töötatud klappmehhanismi kasutatakse nii 4/2-käigulise klapi realiseerimiseks, millel on kaks sisse- ja kaks väljalaskeava, kui ka 3/2-käigulise klapi realiseerimiseks, millel on kaks sisse- ja üks ühine väljalaskeava.

7.2 Väljavaated

Käesolevas väitekirjas näidatakse üksikasjalikult SMA-mootoriga monostabiilsete 3/2-suunaliste ja 4/2-suunaliste klappide väljatöötamist ja valmistamist, mis võimaldavad segada ja vahetada kahe vedelikukanal

Välja töötatud 4/2-suunalise monostabiilse SMA-

mikroventiili tulevased versioonid on võimalik välja töötada erinevate ühendusmeetoditega, nagu näiteks toruliitmik ja suruühendusliitmik, et vastata erinevatele kliendiga seotud vajadustele. Klapi edasine optimeerimine on veel võimalik, kui rakendatakse täiustatud tootmismeetodeid, näiteks süstevalu. Võimaluse korral võib alternatiivina kasutada klappide fluidilise osa valmistamiseks valitud materjalina biomeditsiiniga kokkusobivat vaiku. See tähendaks 3D-printimise tehnoloogia kasutamist, mis on võrreldes freesimisega odavam ja kiirem. Lisaks sellele saab selle klapi tulevased versioonid välja töötada ja valmistada vooluanduritega, mis on otse klapile integreeritud, mis võimaldab paremat kontrollisüsteemi. 3/2-kanalilise SMA-mikroventiili puhul, millel on 2 sisselaske- ja 1 väljavoolukanal, saab mikrofluidilise segisti integreerida otse ventiili väljavoolukanalisse. Üldiselt toimib selles ventiilis rakendatud lülitusmehhanism väga hästi. Kasutatud SMA-taktuaatoril on märkimisväärne jõud, mis on piisav, et reguleerida kuni 2 baari suurust rõhku ventiili sisselaskeava juures.