

ГРАНИЧНА СТАЊА АЛУМИНИЈУМСКИХ РЕШЕТКАСТИХ КОНСТРУКЦИЈА

Ђорђе Ђуричић¹,
Биљана Шћепановић²,
Срђа Алексић³,
Радомир Зејак⁴
Душко Лучић⁵

УДК: 624.014.7

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.034

Резиме: Прорачуни стабилности конструкција од алуминијумских легура се углавном заснивају на методама које се користе у прорачуну стабилности челичних конструкција. Новија истраживања показују да су у усвојеним методама прорачуна недовољно узете у обзир специфичне особине алуминијума. Задатак пред истраживачима је да у наредним истраживањима пажљиво анализирају све утицаје који се јављају у конструкцијама од алуминијума и да их примене у будућим стандардима. У овом раду дат је кратак преглед досадашњих истраживања из области носивости алуминијумских конструкција и предложене смернице за даља истраживања, првенствено из области граничних стања решеткастих алуминијумских конструкција.

Кључне речи: Алуминијум, гранична стања, заваривање, стабилност, извијање

1. ОПШТЕ

Алуминијум има релативно мали модул еластичност, па су елементи од алуминијумских легура у односу на челичне, склонији локалном и глобалном губитку стабилности и подложни су разним облицима избочавања и извијања.

Поред питања стабилности код алуминијума је изражена значајна промена својстава материјала у подручју заваривања (Зона утицаја топлоте). Смањење носивости у зони заваривања може проузроковати локални губитак носивости или додатно отежати проблем описа губитка стабилности.

¹ Мр, Дипл.инж.грађ, сарадник, Висока пословно-техничка школа струковних студија,
Трг Светог Саве 34, Ужице, Србија, е-mail: djordje.djuricic@vpts.edu.rs

Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет у Подгорици, Цетињски пут бб, Подгорица, Црна Гора

² Доц.др, е-mail: biljazzs@t-com.me

³ Доц.др, е-mail: asrdja@ac.me

⁴ Проф.др, редовни професор, е-mail: rzejak@t-com.me

⁵ Проф.др, редовни професор, е-mail: dlucic@ac.me

Утицаји на стабилност и носивост елемента услед геометријске несавршености, заосталих напона, врсте оптерећења и услова ослањања, заједнички су за челик и алуминијум. Тако да се и методе прорачуна алуминијумских конструкција заснивају на методама прорачуна челичних конструкција.

Решеткасте конструкције су конструкције које се често израђују и погодне су за коришћење алуминијума као конструктивног материјала. Сви наведени проблеми у носивости алуминијумских конструкција се манифестују при изради алуминијумске решеткасте конструкције и на њих треба усмерити пажњу.

2. ИСТРАЖИВАЊА СТАБИЛНОСТИ ЕЛЕМЕНАТА КОНСТРУКЦИЈЕ

Прва истраживања датирају од почетка овог века, а **Ramberg, Osgood (1943)** [1] дају прву математичку интерпретацију везе између напона и дилатација код материјала са исказаном нелинеарности. Дати израз представља основу свим каснијим анализама у покушајима за што реалнијом интерпетацијом материјалне нелинеарности алуминијума и његових легура.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_0 \cdot \left(\frac{\sigma}{f_{\varepsilon_0}} \right)^n \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0.002 \cdot \left(\frac{\sigma}{f_{0.2}} \right)^n \quad n = \frac{\log 0.5}{\log \frac{f_{0.1}}{f_{0.2}}} \cong \frac{f_{0.2}}{10}$$

Слика 1. Математичка интерпретација везе између напона и дилатација (Рамберг и Озгуд)

Са својством еластопластичног понашања, без јасно изражене границе развлачења, са наглашеним очвршћивањем, губитак стабилности алуминијумских легура се у већини случајева догађа у нелинеарном подручју и теже га је прорачунски дефинисати (**Goncalves, Camotim, 2004**) [2]

У параметарској анализи коју су спровели **Landolfo, Mazzolani** [3], 1997. године испитивани су неки облици затворених и отворених попречних пресека (кутијасти, омега, и Ц профила разних односа димензија) применом различитих, до тада познатих метода прорачуна.

Опсежна истраживања у којима је испитиван велики број узорака представио је **Mennik** 2002. године [4]. Развијен је прорачунски модел којим је обухваћено локално избочавање тако да је постигнуто високо слагање експерименталних и прорачунских моделирања добијених резултата.

Интеракцију дисторзијског и локалног избочавања проучавали су у својим радовима и **Kutanova, Pekoz, Soetens**, 2009. и 2010. године [5]. Део истраживања је била и провера **Mennik**-овог прорачунског модела за предвиђање избочавања који је и потврђен.

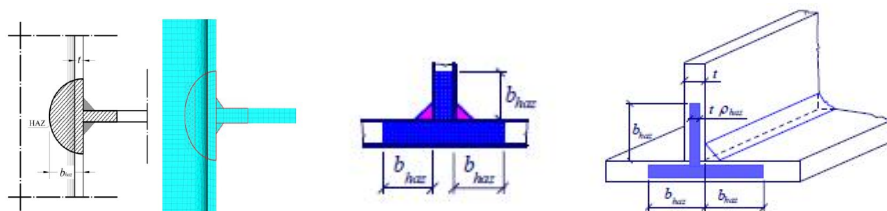
Zhu, Jong [6] су 2006. године испитивали кружне шупље профиле на извијање и бочно-горзионо извијање при притиску, притиску и савијању, и само савијању. Профили су били израђени од легуре ЕН АW-6063-T5 и ЕН АW-

6061-T6. Такође *Zhu, Jong* су 2006. испитали правоугаоне и квадратне шупље профиле. Извршена је упоредна анализа експериментално добијених резултата са резултатима према америчким, аустралијским и европским нормама за алуминијумске конструкције.

3. ИСПИТИВАЊЕ ЗАВАРЕНИХ СПОЈЕВА

Најзначајнији поступци заваривања алуминијума су: лучно заваривање помоћу електроде од волфрама заштићено гасом ТИГ (*Tungsten Inert Gas*), лучно заваривање помоћу топиве електроде заштићено гасом МИГ (*Metal Inert Gas*), ласерско заваривање и заваривање трењем (FSW). (*Mathers*, 2002) [7].

Највише у употреби су ТИГ и МИГ метода заваривања. Како алуминијум има велику проводљивост топлоте, односно одвођење топлоте, иако је тачка топљења ниска (око 660°C) потребна је велика топлота за топљење легуре. Уношењем температуре у основни материјал поништавају се неке од обрада кроз које је прошла легура. То доводи до промене својстава алуминијума у близини вара. Та промена се манифестује у формирању зоне смањене носивости у околини шави ХАЗ (*heat affected zone*) или преведено ЗУТ (зона утицаја топлоте), као што је приказана на слици 1. Смањена носивост попречног пресека у овој зони је и један од разлога да се механичка спојна средства више користе у алуминијумским конструкцијама (*Kissell, Ferry*, 2002) [8]. Зона утицаја топлоте при заваривању код угаоног вара приказана је на слици 2.



Слика 2. Зона утицаја топлоте код угаоног вара

Anizahyati Alisibramulisi [9] у својој докторској дисертацији 2013. године анализира пет различитих легура врсте бxxx са два стања Т4 и Т6. Истраживања су извршена експериментално и нумерички. Нумерички су моделирани начин заваривања, микроструктура модела и нелинеарни механички модел.

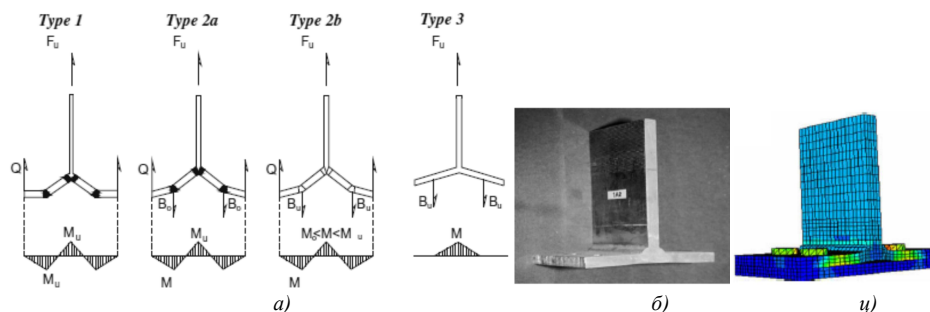
Christina Rodsand Breivik [10] 2013 године испитује легуру ЕН АW-6082-T6 у циљу бољег разумевања промене механичких особина легуре приликом гасног заваривања и заваривања трењем (FSW). Закључује се да зона утицаја топлоте ЗУТ представља велики проблем и код гасног и код фриксионог заваривања. Испитивања су показала да су код фриксионог заваривања (FSW) ширина ЗУТ-а и пад носивости мањи него код гасног заваривања. Констатује се да спојеви заварени трењем FSW имају боље механичке особине и већу носивост од спојева заварених гасним заваривањем.

4. ВЕЗЕ ЕЛЕМЕНАТА У АЛУМИНИЈУМСКИМ КОНСТРУКЦИЈАМА

Везе у општем случају можемо поделити на механичке везе (закивци, завртњеви), везе изведене заваривањем и за алуминијум доста погодне неконвенционалне везе. Заваривање се користи у изради комплетне везе у чвору или за спој чворних лимова за основну конструкцију код веза остварених завртњевима. Везе у алуминијумским решеткастим конструкцијама се, поред заваривања углавном остварују завртњевима, било челичним, било алуминијумским. Приликом коришћења челичних завртњева потребно је водити рачуна о контактної корозији на споју алуминијума и челика. Специфичан, у челичним конструкцијама доста коришћен начин споја два елемента је веза са чеоном плочом (*end plate*).

De Matteis, Mandara, Mazzolani [11] 1999. године врше прве анализе и испитују понашање везе спојене помоћу чеоне плоче. Закључак је да механизам лома оваквих веза у конструкцијама од алуминијума није лако предвидив као у случају везе са елементима од челика и закључују да је потребно детаљније и што више истражити ову материју користећи различите врсте завртњева, геометрије везе и квалитета основног материјала.

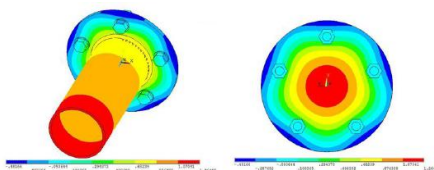
Испитивање Т-стуба спроводили су још *De Matteis, Della Corte, Mandara, Mazzolani* [12] 2004. године. На слици 3 приказан је модел лома алуминијумског т-стуба (а) експериментални модел (б) и нумерички модел (ц).



Слика 3. а) Модели лома код алуминијумског Т-стуба б) експериментални модел и ц) нумерички модел испитиваног Т стуба

De Matteis, Naqash, Brando [13] (2011) настављају претходна истраживања са различитим карактеристикама и типовима завртњева да би се анализирали сви могући механизми лома. Посебно је анализирана дефиниција "ефективне дужине" за алуминијумски Т-стуб. Добијени су занимљиви резултати који би требали да буду имплементирани у будућим издањима норми и стандарда који се баве алуминијумским конструкцијама.

У решеткастим конструкцијама веза са чеоном плочом се примењује за настављање сегмената решетке и углавном је веза оптерећена на затезање. На слици 4 приказана је веза појасних штапова помоћу округле чеоне плоче. Доста радова постоји у овом сегменту са челичним профилима док је прорачун веза са алуминијумским профилима мало заступљен.



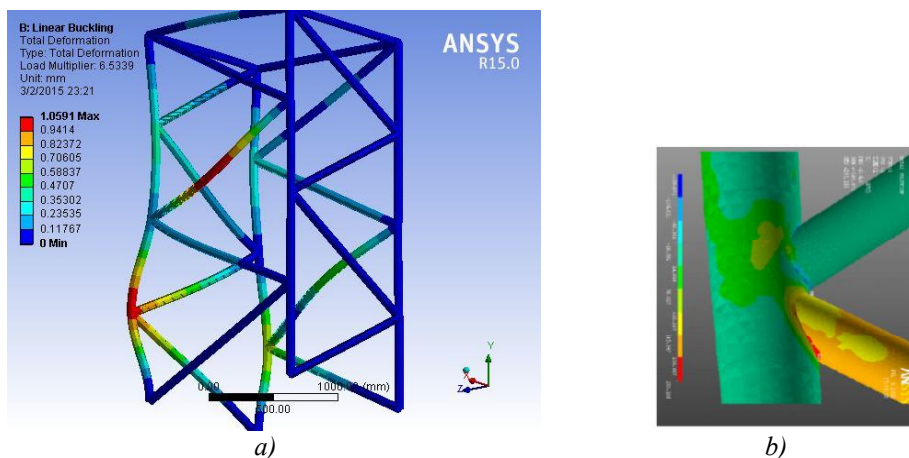
Слика 4. Наставак са округлом чеоном плочом

5. СМЕРНИЦЕ ЗА ДАЉА ИСТРАЖИВАЊА

У већини наведених истраживања испитивани су појединачни елементи и анализирана је стабилност самосталног елемента а не елемента као дела конструкције.

У будућим истраживањима притиснутих штапова у решеткастој конструкцији, потребно је испитати утицај топлотног омекшавања на дужину извијања притиснутог штапа, узимајући у обзир врсту штапа и услове ослањања штапа, првенствено посматрајући конструкцију као целину, као што је приказано на слици 5а.

Такође, занимљиво је испитати утицај заваривања на носивост везе у чворовима решетке код алуминијумских конструкција, нарочито код комплетно заварене везе у чвору као што је приказано на слици 5б.



Слика 5. а) извијање појасног штапа решетке б) К-чвор у завареној изради

6. ЗАКЉУЧАК

Приликом истраживања решетkastih конструкција много је више испитивања извршено на челичним узорцима и скоро сви закључци о понашању конструкције у целини, као и понашању појединих елемената и чворова решетке су изведени на основу анализа на челичним моделима.

У наредним истраживањима потребно је на моделима од алуминијумских профила анализирати гранична стања која се јављају у елементима конструкције и ако је потребно ревидират постојеће правилнике у области носивости затегнутих и притиснутих елемената, локалног и глобалног извијања, конструкција веза између елемената решетке, утицаја топлоте при заваривању на носивост елемената конструкције и сл.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ramberg, W. and Osgood, W.R. (1943), Description of stress-strain curves by three parameters, NACA Technical Note No. 902.
- [2] Rodrigo Goncalves, Dinar Camotim, GBT local and global buckling analysis of aluminium and stainless steel columns, Computers and Structures 82 (2004) 1473–1484
- [3] R. Landolfo, F. M. Mazzolani, Different Approaches in the Design of Slender Aluminium Alloy Sections, Thin-Walled Structures Vol. 27, No. 1, pp. 85-102, 1997
- [4] Jeroen Mennink, Cross-sectional stability of aluminium extrusions, PhD Dissertation ,Technische Universiteit Eindhoven, 2002.
- [5] N. Kutanova, T. Peköz, F. Soetens, Distortional elastic buckling for aluminium: Available prediction models versus design specifications, Heron, Vol. 55 (2010) No. 3/4, pp. 251-268.
- [6] Ji-Hua Zhu, Ben Young, Experimental investigation of aluminum alloy circular hollow section columns, Engineering Structures 28 (2006) 207–215
- [7] Gene Mathers (2002), The welding of aluminium and its alloys, Published by Woodhead Publishing Limited, Cambridge CB1 6AH, England
- [8] Kissel, J.R.,Ferry, R.L.(2002), Aluminum Structures -A Guide to Their Specifications and Design(Second edition),John Wiley&Sons, Inc.,New York.
- [9] Anizahyati Alisibramulisi, Through Process Modelling of Welded Aluminium Structures,PhD Dissertation, Faculty of Engineering Science and Technology, Trondheim, 2013.
- [10] Christina Breivik, Mechanical properties of gas metal arc and friction stir AA6082-T6 Weldments ,PhD Dissertation, Faculty of Engineering Science and Technology, Trondheim, 2013.
- [11] G. De Matteis, A. Mandara, F.M. Mazzolani, T-stub aluminium joints: influence of behavioural parameters,Computers and Structures 78 (2000)

- [12] G. De Matteis, G. Della Corte, A. Mandara, F.M. Mazzolani, Experimental behaviour of aluminium T-stub connections, Connections in Steel Structures V - Amsterdam - June 3-4, **2004**
- [13] M. T. Naqash, G. Brando, G. De Matteis, Calibration and Validation of Numerical Models through Experimental Tests, International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering ISSN 2319-5347, Vol. 03, No. 02, April **2014**

LIMIT CONDITIONS WITH LATTICE ALUMINUM CONSTRUCTION

Summary: Calculations of structural stability of aluminum alloys are mainly based on methods used in the calculation of stability of steel structures. Recent studies show that in the adopted calculation methods are insufficiently taken into account the specific characteristics of aluminum. The task for the researchers is that in subsequent surveys carefully analyze all the influences that occur in structures made of aluminum and apply them to future standards. This paper provides a brief overview of previous research in the area of capacity of aluminum construction and suggested directions for future research, primarily in the field of limit conditions lattice aluminum construction.

Keywords: aluminum, limit conditions, welding, stability, buckling