

# Трещины образующиеся при сварке высокопрочных алюминиевых сплавов Al-Zn-Mg-Cu

Ing. Karel Kovanda

Vedoucí práce: prof. Jan Suchánek, CSc.

## Abstrakt

Главная цель исследования состояла в изучении механизма образования горячих трещин при сварке алюминиевых сплавов Al-Zn-Mg-Cu в нормальных условиях. Вследствие этого был проведен эксперимент с образцами модифицированной Хоулдкрафт тест, для испытания сварных соединений на склонность к образованию горячих трещин. Основным материалом был сплав EN AW 7022 T651. Эти образцы были произведены при помощи автоматизации методом ТИГ с тремя видами присадочной проволоки AlSi5, AlMg4,5MnZr и AlMg5Cr.

**Ключевые слова:** ТИГ, свариваемость, Al-Zn-Mg-Cu, Гоулдкрафт тест

## 1. Введение

В этой статье речь идет о технологическом методе испытания сварных соединений на склонность к образованию горячих трещин в алюминиевых сплавах типа Al-Zn-Mg-Cu. Склонность к образованию трещин выражается индексом „А“. Процесс образования трещин можно изменить при помощи различных видов присадочной проволоки. Наиболее распространенным методом тестирования присадочных проволок является Гоулдкрафт тест, его также называют „Fishbone test“.

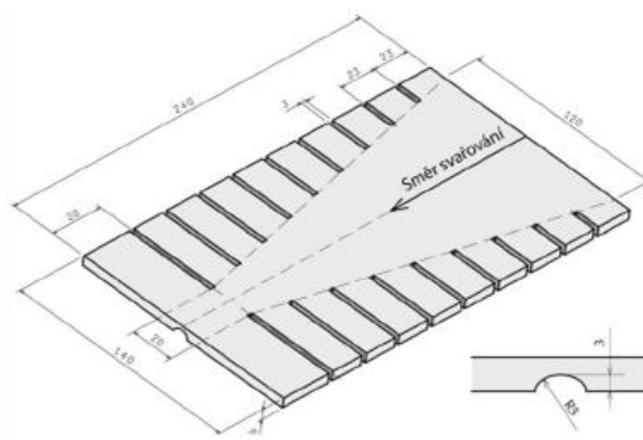
В лабораторном испытании сварка проводилась в среде инертного газа аргона неплавящимся электродом, на переменном токе. Присадочные металлы были выбраны в зависимости от марки сплава и советов государственных стандартов: AlSi5, AlMg5Cr и AlMg4,5MnZr.

## 2. Гоулдкрафт тест

В качестве образца для теста свариваемости используют плиту толщиной 6 мм с надрезами различной длины, в зависимости от длины надреза меняется жесткость плиты. Сварка производится в середине плиты и со стороны корня шва находится дорожка с радиусом 5 мм, такая дорожка используется в модифицированном Гоулдкрафт тесте для сварки ТИГом. Таким образом толщина материала в месте сварки достигает 3 мм. Главным принципом теста свариваемости является полный провар шва с самого начала образца по всей длине образца, рис. 1. Когда материал имеет склонность к образованию горячих трещин, трещина возникает с самого начала сварки. Если в процессе испытания провар происходит не с самого начала образца, то результаты теста будут искаженными [11].

$$A = \frac{l_t}{l_c} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

Величина индекса трещин „А“ (%), является отношением длины трещины „l<sub>t</sub>“ (мм) к длине сварного шва „l<sub>c</sub>“ (мм). Длина трещины измеряется и проводится визуальный контроль, дополнительно можно использовать капиллярный контроль.



*Рисунок 1. Образец для модифицированного Хоулдрифтова теста [9]*

### 3. Основной материал

До 1945 г. самым прочными алюминиевыми сплавами, широко применявшимися в промышленности, были деформируемые сплавы системы Al-Cu-Mg и Al-Cu-Mg-Si. Для получения еще более прочных сплавов были подвергнуты исследованию новые системы с большими потенциальными возможностями. Наиболее перспективными являлись сплавы системы Al-Zn-Mg и Al-Zn-Mg-Cu. Основным материалом является алюминиевый сплав марки EN AW 7022 T651 (AlZn5Mg3Cu) по стандарту ČSN EN 573-1. Высокой прочности этих сплавов достигается естественным старением. Цинк и магний являются самыми главными легирующими элементами, химический состав и механические свойства приведены в таблицы 1 [1,2,4].

*Таблица 1. Химический состав и механические свойства по стандарту и химическому анализу [5]*

EN AW 7022 T651	Zn [%]	Mg [%]	Si [%]	Fe [%]	Mn [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ti+Zr [%]	Ti [%]
стандарт	4,3 – 5,2	2,6 – 3,7	0,5	< 0,5	0,1 - 0,4	0,5 - 1,0	< 0,3	0,2	-
анализ	4,3	2,9	0,09	/	0,18	0,6	0,1	Zr 0,03	0,03
Pevnost v tahu [MPa]		Mez kluzu [MPa]		Tažnost A <sub>50</sub> [%]		Tvrđost	Modul pružnosti v tahu [MPa]		
zaručená	typická	zaručená	typická	zaručená	typická				
450	550	370	490	8	10	165HB	71000		

Алюминиевые сплавы на основе цинка и магния достигают высокой прочности, эти сплавы приобретали для использования в аэрокосмической промышленности. Сегодня их можно употребить в рамах велосипедов и мотоциклов, в прискивающих формах для пластмасс [4,7,12].

Алюминиевые сплавы типа Al-Zn-Mg-Cu обозначаются склонностью к образованию горячих, холодных и интеркристаллических трещин, рис. 2. Позитивное влияние имеют легирующие элементы циркония, титана, церия, бора и других в низких количествах.

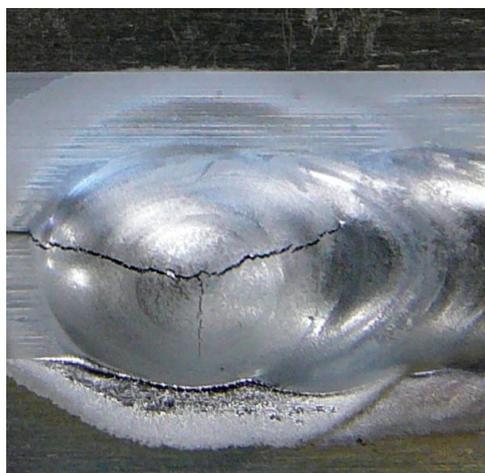


Рисунок 2. Горячая трещина в кратере

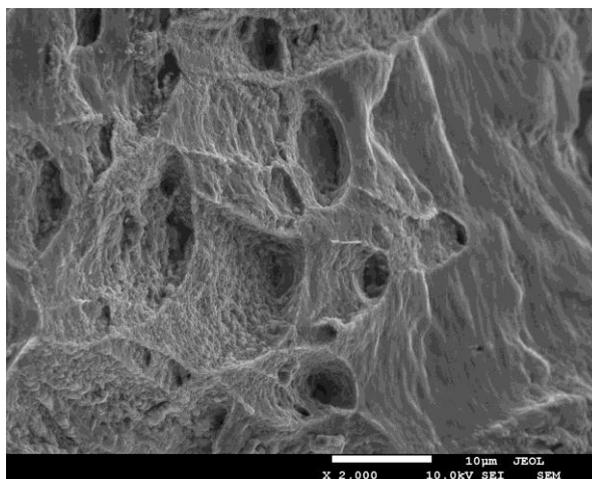


Рисунок 3. Горячая трещина, увеличение x 2000

#### 4. Эксперимент

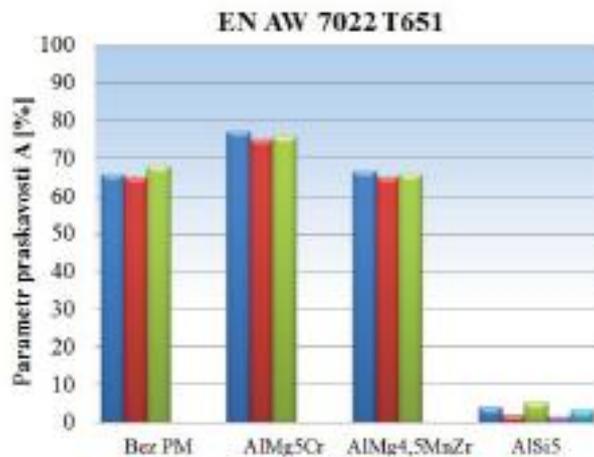
В эксперименту были использованы три вида присадочных материалов, таблица 2. Главными условиями оптимальных параметров сварки являлось устройство таких параметров что бы полный провар был с самого начала. Это касалось очень сложным делом и получилось этот проблем элиминировать при помощи боковых плит. Оптимальные сварочные параметры обеспечивают образование трещин с самого начала образца сварки. Если будут параметры сварки очень высокими, будет провален сварный шев. Был устроен сварочный ток о мощности 190 А, напряжение 17,6 V, скорость сварки 0,15 m.min<sup>-1</sup>, скорость присадочной проволоки 0,76 m.min<sup>-1</sup>.

Таблица 2. Химический состав и механические свойства присадочных материалов [8]

Пřídavný materiál	Si [%]	Mg [%]	Zn [%]	Mn [%]	Ti [%]	Zr [%]	Cu [%]	Al [%]	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	A <sub>50</sub> [%]
AlMg5Cr OK Autrod 5356	0,25	5,0	0,1	0,15	0,11	Cr 0,13	0,1	zbyt.	265	120	26
AlMg4,5MnZr OK Autrod 5087	0,25	4,9	0,25	0,9	0,15	0,15	0,05	zbyt.	280	130	30
AlSi5 Ok Autrod 4043	5,0	-	0,1	0,05	0,15	-	0,05	zbyt.	165	55	18

Исследовательские данные из Гоулдкрафтова теста приведены на рисунку 4. Сваркой без присадочного материала можем определить индекс трещин „А“ основного металла, он достигает размера 66%. Если индекс трещин превышает уровня выше чем 35 %, материал имеет склонность к образованию трещин [12]. Самых лучших результатов достигается с присадочным материалом типа AlSi5 (A = 3,3 %), потому что сварочный

металл имеет большую пластичность, которая позволяет деформации металла. При использовании присадочного материала, который не уменьшил склонность к образованию трещин, даже наоборот индекс трещин повысился.



**Рисунок 4.** Индекс образования трещин в зависимости с использованием различного типа присадочного материала [9]

## 5. Заключение

Благодаря тесту Гоулдкрафта можно обсудить склонность образования горячих трещин в сварных соединениях. Главную роль в этой проблематике играет влияние присадочной проволоки. Результаты подтвердили, что ТИГовую сварку можно употребить к этому тесту. Сваркой без присадочной проволоки можно получить ценные информации о склонности к образованию трещин основного материала.

Индекс образования трещин алюминиевого сплава EN AW 7022 T651 достигает  $A = 66,3$  %. Полученные данные подтверждают теоретические предложения о большой склонности к образованию трещин. Самых лучших результатов достигается с присадочным материалом типа AlSi5 ( $A = 3,3$  %), потому что сварочный металл имеет большую пластичность, которая позволяет деформации металла. При использовании присадочного материала, который не уменьшил склонность к образованию трещин, даже наоборот индекс трещин повысился.

З предложенных результатов можно предложить использование присадочной материал типа силумин AlSi5, индекс трещин будет очень низким, снижает его о 60 %, напротив тому механические свойства как например прочност будет невысокая.

## 6. Благодарность

Výzkum byl financován z projektů SGS13/187/OKH2/35/12 a FRVŠ G1 611/2011

### Список символов

$A$	Индекс трещин	(%)
$l_c$	длина сварного шва	(мм)
$l_t$	длина трещины	(мм)

## 7. Список литературы

- [1] Ma, T. ;Ouden, G.: *Softening behaviour of Al-Zn-Mg alloys due to welding*, Materials science and engineering A 266, 1998 Elsevier, p. 198-204
- [2] CHEMINGUI, M. et al. *Characterization of the mechanical properties changes in an Al-Zn-Mg alloy after a two-step ageing treatment at 70°C and 135°C*. *Materials and Design* [online]. 2010, 31, [cit. 2009-12-23]. Dostupné z: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), ISSN 0261-3069
- [3] KOU, S. *Welding metallurgy 2nd ed.*. New Jersey, CANADA: John Wiley and Sons, 2003. 466 s. ISBN 0-471-43491-4.
- [4] PODREZ-RADZISZEWSKA, Marzena. *Weldability problems of the technical AW 7020 alloy*. *Manufacturing technology XI*, 11/2011, 2011, ISSN 1213-2489. Dostupné z: [http://journal.strojirenskatechnologie.cz/templates/obalky\\_casopis/XI\\_2011](http://journal.strojirenskatechnologie.cz/templates/obalky_casopis/XI_2011).
- [5] Fürbacher, I.; Macek, K.; Seidl, J. a kolektiv: *Lexikon technických materiálů*, svazek 4., Praha: Verlag Dashöfer, 2001
- [6] Cube [online]. 2010 [cit. 2012-2-11]. *Technologie rámu*. Dostupné z: <http://www.cube.eu/cz/inovacni-centrum/>
- [7] Kolařík, L., Kovanda, K.: *Svařitelnost hliníkových slitin*, MM Průmyslové spektrum, roč. 2011, č. 4, s. 18
- [8] ESAB [online]. 2009 [cit. 2011-06-14]. Svařování a pálení. Dostupné WWW: <<http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=131496>>.
- [9] ZUBAL, Václav. *Diplomová práce: Svařitelnost vytvrditelných slitin hliníku typu AlZnMg*, 95 s. Praha ČVUT, 2012
- [10] DAVIES, Joseph. *ASM Speciality Handbook: Aluminium and Aluminium Alloys*. ASM International, 1993. 784 s. ISBN 978-0-87170-496-2.
- [11] HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materialov*. Bratislava : STU, 2009. 486 s. ISBN 97-88022731-67-6.
- [12] KRUGER, Ulrich. *Weldability*. Talat lecture 4202, EAA, 1994.
- [13] MATSUDA, Fukuhisa, et. al., Assessment of solidification cracking test for aluminium alloy welds, 1982, Transactions of JWRI, 11, č. 1, s.67-77.
- [14] TOTTEN, George a MACKENZIE, Scott. *Handbook of Aluminium Physical Metallurgy and Processes*. Vol. 1, New York : Marcel Dekker, 2003, 1296 s. ISBN 0-8247-0494-0.