

## STUDY THE FATIGUE STRENGTH OF WELDED SUSPENSION FOR A ELECTROMOBILE PROTOTYPE<sup>1</sup>

---

**Assist. Prof. Ivo Draganov, PhD**

Department of Technical Mechanics,

Univesity of Ruse, Bulgaria

Phone: 082 888 224

E-mail: iivanov@uni-ruse.bg

**Eng. Stiliyana Mileva**

Department of Technical Mechanics,

Univesity of Ruse, Bulgaria

Phone: 082 888 513

E-mail: smileva@uni-ruse.bg

***Abstract:** The paper presents a finite element model and investigation of fatigue strength of welded suspension for a electromobile prototype. The Submodell and RIMS technics are used. The influence of the size of the welded seam is investigated. The fatigue life of the suspension is predicted for specific geometry and material properties.*

***Keywords:** Welded Vehicle Suspencion, Finite Element Analysis, Fatigue Strength, RIMS*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Обект на разглеждане в настоящата работа е шенкел от прототип на електромобил (Шев 2017). Отговорността на този елемент от окачването е обусловена от функцията му да осигурява завиването и връзката между колелото и шасито. Това води до изискването за определяне на уморната му якост. Този проблем се разглежда в редица работи, включващи натурни изпитания (Nadot 2004), аналитични изчисления (Devlukia 1997) и симулации (Buciumeanu 2007), (Han 2007), (Jun 2008), (Rahman 2011).

Съществуват шенкели изработени от различни материали – титан (Kocan 2005), алуминий (Beghini 2012) и стомана (Mitev 2018). Стоманените конструкции могат да се получат чрез леене, заваряване или пластична деформация. Използването на заварени конструкции не е целесъобразно за серийно производство, заради опасността от остатъчни напрежения. При производството на прототипи обаче заварените конструкции имат предимството, че не е необходимо изработването на технологична екипировка.

Изчисляването на уморната якост в заварени съединения се извършва по някои от следните методи: подход на номиналните напрежения, подход на структурните напрежения или подход на напреженията в надрез (Hobbacher 1996), (Koristilyov 2016). Широкото разпространение на метод на крайните елементи, в програмите за автоматизирано проектиране, обуславя прилагането на техниката „радиус 1 mm средно разпределение“ (P1CP) предложена от Радаж (Radaj 1985), която е предмет на разглеждане в работите (Halasz 2006), (Fricke 2007) и реализирана на основата на субмоделирането (Cormier 1999).

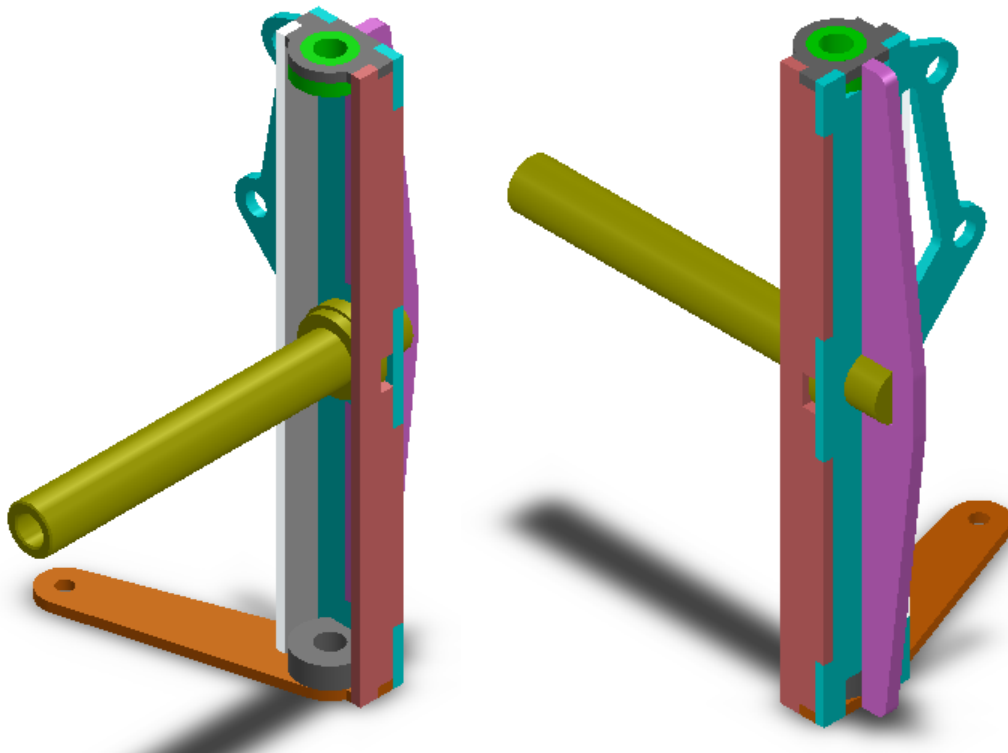
Въпросът за прилагането на техниката P1CP за анализ на уморната якост в шенкел стои открит.

---

<sup>1</sup> Докладът е представен в секцията по Транспорт и машинознание на 26 октомври 2018 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА УМОРНАТА ЯКОСТ НА ЗАВАРЕН ШЕНКЕЛ ЗА ПРОТОТИП НА ЕЛЕКТРОМОБИЛ

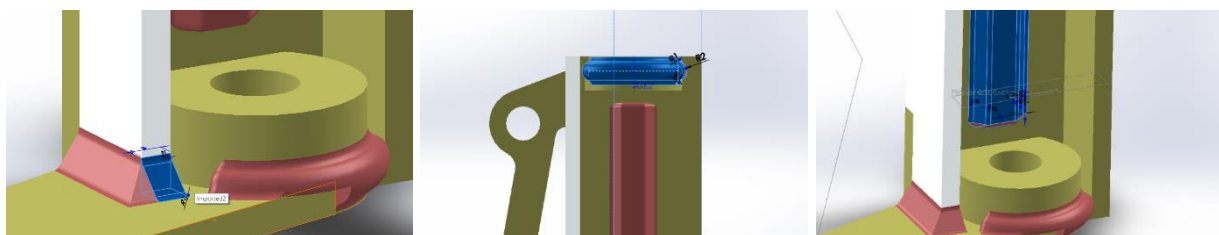
## ГЕОМЕТИЧЕН МОДЕЛ

Геометричният модел на шенкела е създаден в средата на Солидуъркс (SolidWorks 2014) – фиг. 1. Създадени са отделните детайли, обединени са в сборка и след импортирането им като “степ” файл (\*.stp), са построени заваръчните шевове.



Фиг. 1. Заваръчно съединение

Предвидено е заваръчните шевове на ъгловите съединения да бъдат изпълнени с апотема 2 mm, челните съединения да бъдат с полукръгла форма с радиус 2 mm, а реброто да бъде изпълнено с общ шев с дебелина 2 mm и ширина в горната част - 4 mm – фиг. 2. За прилагането на техниката P1CP заваръчните шевове имат преход към заваряваните детайли с радиус 1 mm.



а) ъглово съединение

б) челно съединение

в) ребро

Фиг. 2. Заваръчни шевове

## КРАЙНОЕЛЕМЕНТЕН МОДЕЛ

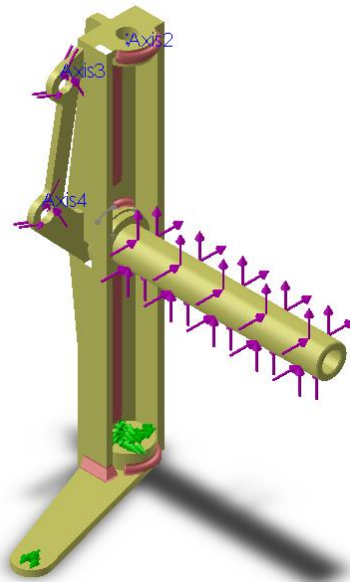
Шенкелът е изработен от стомана с модул на еластичност 200 GPa и коефициент на Поасон 0,29.

Шенкелът е подложен основно на три външни въздействия. Първото е натоварването му от собственото тегло на прототипа, с големина на силата 350 N, имаща вертикално направление. Заради неравностите по пътя, тази сила действа циклично, като нейната честота е най-голяма. Второто въздействие се дължи на спирачния механизъм. Спирането предизвиква натоварване с момент, имащ големина 60 N. Третото въздействие е от инерционните сили на прототипа, които действат при потегляне и спиране. Тази сила има хоризонтално направление

и максимална големина 250 N. Второто и третото въздействия са с по-малка честота, но натоварванията от тях действат и по време на първото въздействие.

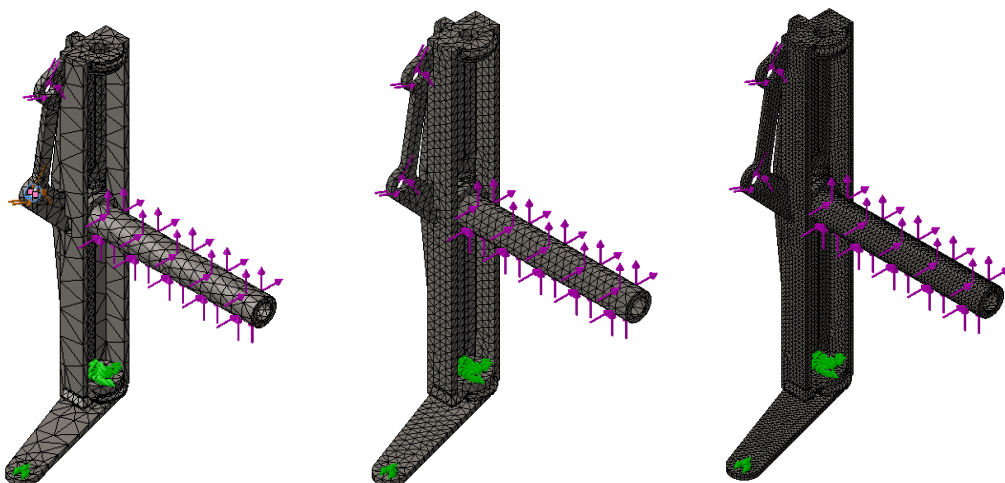
Натоварването е реализирано, като е зададена сила с големина на хоризонталната компонента 250 N и големина на вертикалната компонента – 350 N. Силата е приложена върху оста за колелото, като е разпределена от Солидуъркс върху цилиндричната повърхнина. Зададен е момент с големина 60 Nm в отворите за спирачния апарат. Граничните условия съответстват на връзките между шенкела и другите компоненти на окачването (Mitev 2018).

Закрепването е реализирано чрез ограничаване на радиалната степен на свобода в горния отвор и отвора на рамото - фиг. 3 и всички степени на свобода в долния отвор.



Фиг. 3. Гранични условия

Дискретизацията на макромодела на шенкела е извършена чрез тетраедърни крайни елементи с един междинен възел – фиг. 4. В таблица 1 са дадени резултатите за първо главно напрежение, при различна гъстота на мрежата.



а) 11993 възела

б) 23209 възела

в) 114736 възела

Фиг. 4. Дискретизация

Определено е първо главно напрежение възникващо в макромодела. Най-голямо напрежение възниква в долния край на усилващото ребро – фиг. 5. Направена е проверка за сходимост на резултатите – таблица 1. Определени са грешки 1 и 2 по зависимости

$$Err_1 = \frac{\sigma_1^B - \sigma_1^e}{\sigma_1^B} \cdot 100, \% \quad (1)$$

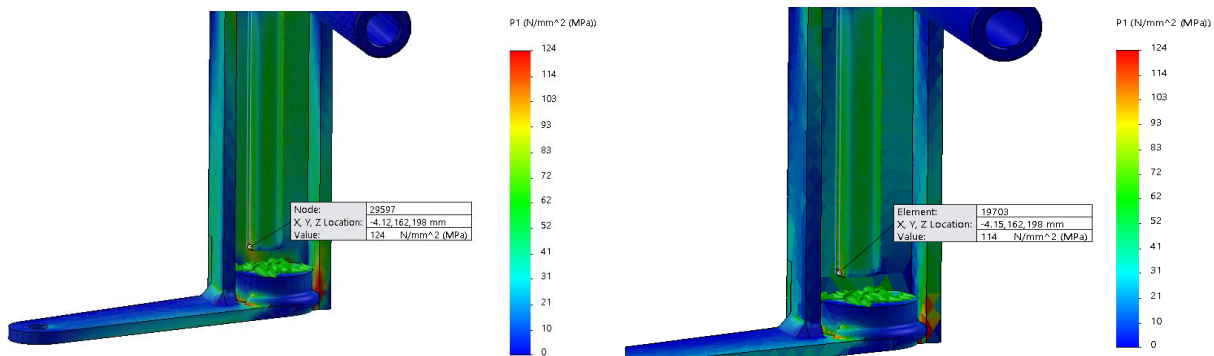
и

$$Err_2 = \frac{\sigma_1^{(2)} - \sigma_1^{(1)}}{\sigma_1^{(1)}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

където с  $\sigma_1^B$  и  $\sigma_1^e$  са означени първи главни напрежения съответно във възли и елементи, а с  $\sigma_1^{(1)}$  и  $\sigma_1^{(2)}$  – първо главно напрежение в две последователни решения.

Таблица 1. Сходимост на резултатите за макромодела

№ на реш.	Големина на елементите, mm	Брой на възлите, бр.	Първо главно напрежение във възли, МПа	Първо главно напрежение в елементи, МПа	Грешка 1, %	Грешка 2, %
1	16	11993	83,9	60,3	28,1	
2	8	21631	87,8	68,5	22	4,6
3	4	56419	124	114	8,1	41,2



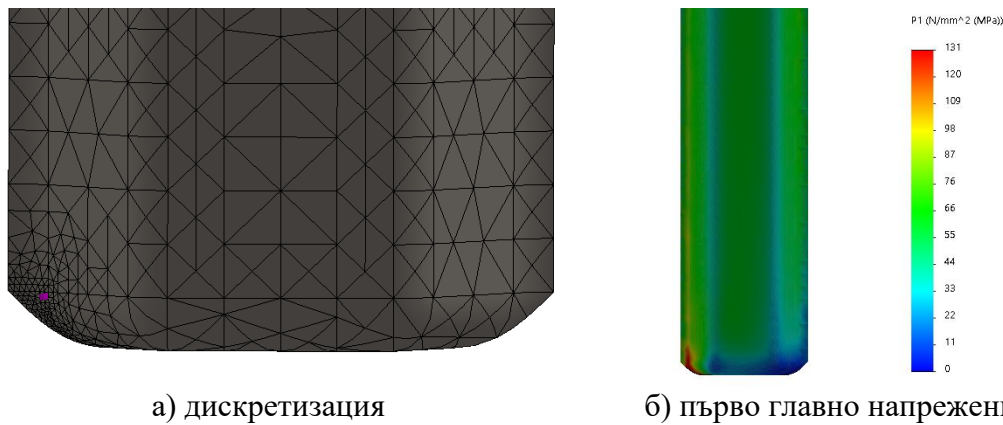
а) възлови напрежения  
б) елементни напрежения  
Фиг. 5. Заваръчен шев с максимално първо главно напрежение

### ПРИЛАГАНЕ НА ТЕХНИКАТА P1CP

Заваръчните шевове са построени като са зададени закръгления с радиус 1 mm към заваряваните детайли. Закръглението е дискретизирано чрез локално сгъстяване на мрежата с 10 елемента, което води до голям брой на крайните елементи и голям обем на изчислителната работа. Поради тази причина е създаден субмодел. Солидуъркс позволява да се разгледа отделен геометричен обект, върху който се задават гранични условия, получени от предходен анализ на макромодел. Тъй като най-големите напрежения в заваръчните шевове се получават в долния шев на реброто, той е обособен в субмодел – фиг. 6. Извършена е проверка за сходимостта на резултатите в субмодела – таблица 2.

Таблица 2. Сходимост на резултатите за субмодела

№ на реш.	Големина на елементите (глобално/локално), mm	Брой на възлите	Първо главно напрежение във възли, МПа	Първо главно напрежение в елементи, МПа	Грешка 1, %	Грешка 2, %
1	1/0,1	23392	124	115	7,3	-
2	1/0,05	26695	131	130	0,76	5,64



Фиг. 6. Субмодел

Съгласно (Hobbacher 1996) получените резултати са съпоставими с FAT клас 225. Друга възможност за оценка на уморната якост е предложена от Желев (Gelev 1984, стр. 41), като връзката с границата на якост при статично натоварване е:

$$\sigma_{-1} = 0,32 \cdot \sigma_B. \quad (3)$$

Границата на якост -  $\sigma_B$  на стомана S275 е 410 МПа, което дава за уморната якост 131 МПа.

## ИЗВОДИ

Проверката за сходимост на резултатите на макромодела показва, че грешките са значителни, което налага прилагането на техниката P1CP. Големият обем изчислителна работа изисква използването на субмодел.

Прилагането на техниката P1CP чрез субмодел, за заваръчния шев с най-големи напрежения, дава добра сходимост.

Получените резултати за първо главно напрежение показват, че избраната форма и размери за заваръчни шевове са подходящи, от гледна точка на уморната якост на шенкела, ако се използва стомана S275 или друга, с по-висока граница на якостта.

Използването на заваръчна конструкция за шенкел е възможно, независимо от наличието на циклично натоварване.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящата разработка е реализирана във връзка с Проект № 2018 PY-07.

## REFERENCES

- Beghini M., L. Bertini, W. Rosellini. (2012). Fatigue behavior of die-casting aluminum alloy suspension arms for scooters. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* 36, pp. 439-449.
- Buciumeanu M., A. Miranda, A. Pinho, F. Silva. (2007). Design improvement of an automotive-formed suspension component subjected to fretting fatigue. *Engineering Failure Analysis* 14, pp. 810-821.
- Cormier N., B. Smallwood, G. Sinclair, G. Meda. (1999). Aggressive Submodelling of Stress Concentrations. *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 46, p. 889-909.
- Dassault Systemes. (2014). Theoretical Manual SolidWorks Simulation. *Dassault Systemes*.
- Devlukia J., H. Bargmann. (1997). Fatigue Assessment of an Automotive Suspension Component Using Deterministic and Probabilistic Approaches. *European Structural Integrity Society*, Vol. 22, pp. 1-16.
- Fricke W. (2007). Round-Robin Study on Stress Analysis for the Effective Notch Stress Approach. *Welding in the World*, Volume 51, Issue 3, pp. 68-79.

Gelev A., J. Kostadinov. (1984). Welding structures. Part II. Strength assessment. Government publisher "Техника", Sofia. (**Оригинално заглавие:** Желев А., Й. Костадинов. 1984. Заварени конструкции. Том II. Якостни оценки. Държавно издателство „Техника“, София).

Halaszi C., C. Gaier, H. Dannbauer, K. Hofwimmer. (2006). Fatigue Analysis of Welding Seams in Automotive Structures. *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol.31, No.2, p. 63-76.

Han S., J. Lee, T. Lee, K. Jang, T. Kwon. Application of an Integrated Design System based on a FE Modeling Support System to assess Fatigue Durability of Automobile Suspension Modules. *Proceedings of the 2007 11<sup>th</sup> International Conference on Computer Supported Work in Design*, pp. 343-348.

Hobbacher A. (1996). Fatigue design of welded joints and components. *International Institute of Welding*.

Iliev S., D. Gunev, V. Dobrev. (2017). Improving engineering education through the design and manufacture of electric car for the Shell Eco-marathon competition. *International Society of communication and Development among universities*, pp. 1-8.

Jun K., T. Park, S. Lee, S. Jung, J. Yoon. (2008). Prediction of Fatigue Life and Estimation of its Reliability on the Parts of an Air Suspension System. *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 9, No. 6, pp. 741-747.

Kocan M., B. Yazgan-Kokuoz, H. Rack, L. Wagner. (2005). The High-Cycle-Fatigue Performance of Lightweight Titanium Automotive Suspensions. *JOM*, Vol. 47, Issue 11, pp. 66-68.

Koristilyov L., D. Litvinenko. (2016). Analysis and classification of methods for assessment of fatigue strength of welded thin walled structures for ship hulls. *Vestnik gosudarstvennogo univesitta morskogo i rechnogo flota S.O. Makarova*, vol 3 (37), pp. 104-118 (**Оригинално заглавие:** Коростыльѳв Л., Д. Литвиненко. 2016. Анализ и классификация методов оценки усталостной прочности сварных тонкостенных конструкций корпуса судна. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*, № 3 (37), 104 – 118).

Mitev E., S. Iliev, D. Gunev. Design and study of suspension's element for prototype DTT-3 by CATIA. *57<sup>th</sup> Science Conference of Ruse University – SSS, Bulgaria*, 2018.

Nadot Y., V. Denier. (2004). Fatigue failure of suspension arm: experimental analysis and multiaxial criterion. *Engineering Failure Analysis* 11, pp. 485-499.

Radaj D. Gestaltung und Berechnung von Schweißkonstruktionen, *Ermüdungsfestigkeit. Düsseldorf*, Germany: DVS, 1985.

Rahman M., M. Noor, K. Kadirgama, M. Maleque, R. Bakar. (2011). Modeling Analysis and Fatigue Life Prediction of Lower Suspension Arm. *Advanced Materials Research*, Vol. 264-265, pp. 1557-1562.

Schoenborn K. (2005). Fatigue Analysis of a Welded Assembly Using ANSYS Workbench. *CADFEM User's Meeting*.