

## Hegesztett vasúti járműszerkezetek fáradásra történő méretezése

Borhy István\*, Kovács László\*\*

\* TÜV Rheinland InterCert Kft., e-mail: borhy@hu.tuv.com

\*\* MÁV-GÉPÉSZET Zrt., e-mail: kovacsl@mav-gepeszet.hu

**Absztrakt:** A vasúti járműszerkezetek élettartamát jelentősen befolyásolja a hegesztett kötések fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállása. A járműszerkezetekkel szembeni követelmények a kellő merevségű és a fárasztó igénybevétel szempontjából is megfelelő, ám ugyanakkor a lehető legalacsonyabb tömegű, gazdaságosan gyártható, valamint egyszerűen, ill. alacsony költséggel karbantartható szerkezet kialakítását igénylik, figyelembe véve a fokozott utas- és vagyonbiztonsági szempontokat. A járművekkel és jármű részegységekkel szemben támasztott fokozott minőségi követelmények kizárólag a teljes gyártási folyamat – a tervezéstől az anyagkiválasztáson keresztül egészen a gyártásig és az azt követő ellenőrzésig – kézbentartása révén biztosíthatók. Előadásunkban a hegesztett járműszerkezetek fáradásra történő méretezésének előírásait mutatjuk be.

**Kulcsszavak:** hegesztett vasúti járműszerkezet, biztonsági kategória, igénybevételeli állapot, varratminőségi osztály, kifáradási határfeszültség, Bauformenkatalog

### 1. Bevezetés

A vasúti járműszerkezetek tervezése összetett feladat, mely nagyfokú gondosságot, megalapozott elméleti ismereteket és jelentős gyakorlati tapasztalatot igényel. A tervezőmérnököknek a járműszerkezet kialakítása során fokozott óvatossággal és körültekintéssel szükséges eljárniuk, hiszen a tervezés során számos szempontot kell figyelembe venni és mérlegelni annak érdekében, hogy a termékkel szemben támasztott – egymásnak gyakran ellentmondó – követelményeket ki lehessen elégíteni. A számos igényt figyelembe vevő optimális eredmény elérése nehéz feladat, hiszen a szerkezettel szemben támasztott funkcionális, szilárdsági, megbízhatósági, esztétikai, stb. követelményeken túlmenően fokozott figyelmet kell for-

dítani a gyárthatósági és ellenőrizhetőségi szempontok kielégítésére is. Mivel a hegesztett vasúti járműszerkezetek jellemző tönkremeneteli módja a fárasztó igénybevétel hatására bekövetkező repedéskeletkezés és terjedés, ezért ezen hatásokot és következményeit a teljes tervezési folyamat során szem előtt kell tartani és elkerülésére a szükséges intézkedéseket meg kell tenni.

Az Európai Parlament és Tanács 2004. április 29-i 2004/50/EK irányelvvel módosított 2001. március 19-i 2001/16/EK irányelvében foglalt biztonsági követelmények és a hozzájuk kapcsolódó TSI-k (magyarul ÁME-k) előírásai új helyzetet teremtettek a vasúti járművek és járműszerkezetek tervezése, megfelelőségük értékelése és hatósági engedélyezése területén. A korábbi nemzeti előírásokat fokozatosan felváltják az egységes európai követelmények. A vasúti járművek, ill. részegységeik hegesztésére vonatkozó új európai előírásrendszer követelményeit és bevezetésének folyamatát az elmúlt években számos alkalommal bemutattuk [1]. Az 1997 októberében megjelent EN 15085 szabványsorozat 3. része [2] a vasúti járművek ill. részegységeik hegesztett kötéseinak tervezésére vonatkozó követelményeket tartalmazza [3]. Mivel az egységes szemléletű előírás a hazai tervezőmérnökök számára számos újdonságot tartalmaz, ezért indokolt ezen újdonságok áttekintése és bemutatása.

## 2. Varratminőségi osztály meghatározása

A varratokat a szerkezetre ható terheléseknek (igénybevételnek) és a biztonsági kategóriáknak megfelelően kell tervezni. Az egyes szerkezeti elemekre ható igénybevételek meghatározásakor a vonatkozó európai szabványokban – járműszerkezetek esetén az EN 12663 szabványban [4], míg forgóvázkeretek esetén az EN 13749 [5] szabványban – rögzített követelményeket kell figyelembe venni. Statikus terhelés esetén a méretezés alapja az egyes varratípusokhoz (pl.: V, HV, HY, stb.) az EN 15085-3 szabvány C mellékletében megadott ún. effektív varratkeresztmetszet ( $a_R$ ), amelyet szükség szerint próbahegesztési vizsgálatokkal lehet igazolni. Fárasztásnak kitett varratok esetén az igénybevételi állapot a feszültségtényező (S) alapján az alábbi táblázat szerint határozható meg:

1. táblázat Igénybevételi állapot meghatározása

Igénybevételi állapot	Feszültségtényező (S)		
	Kifáradási szilárdság szabvány alapján számított értékei	Kifáradási szilárdság reprezentatív mintákon mért értékei	
		1. lehetőség	2. lehetőség
Magas	$S \geq 0,9$	$S \geq 0,8$	$S \geq 0,9$
Közepes	$0,9 > S \geq 0,75$	$0,8 > S \geq 0,5$	$0,9 > S \geq 0,75$
Alacsony	$0,75 > S$	$0,5 > S$	$0,75 > S$

Megj.: Az elfogadási kritérium értékéről a vevő vagy az illetékes hatóság dönt

A biztonsági kategória az egyes hegesztett varratok tönkremenetelének a következményeit határozza meg az élet- és vagyónbiztonság tekintetében. A szabvány az alábbi biztonsági kategóriákat különbözteti meg.

2. táblázat Igénybevételi állapot meghatározása

Biztonsági kategória	Leírás / Jellemzés
Alacsony	A hegesztett kötés tönkremenetele nem vezet közvetlenül az adott részegység funkciójának teljeskörű megszűnéséhez. A személyi sérüléssel járó események bekövetkezésének valószínűsége alacsony.
Közepes	A hegesztett kötés tönkremenetele közvetlenül az adott részegység funkciójának megszűnését eredményezi, vagy személyi sérüléssel járó következményes eseményekhez vezethet.
Magas	A hegesztett kötés tönkremenetele személyi sérülést okoz és az adott részegység funkciójának megszűnéséhez vezet.

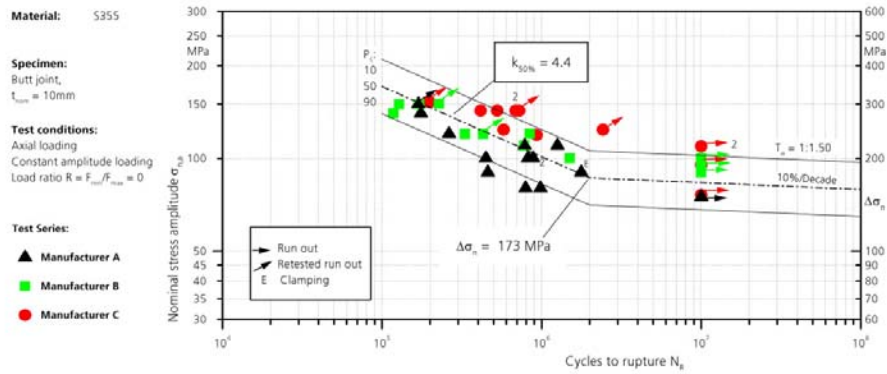
A szerkezetre ható terhelések (feszültségek) és a járműszerkezet biztonsági besorolása alapján kerül meghatározásra a varratminőségi osztály (CP A-tól CP D-ig), amely egyúttal a vizsgálati követelményeket (vizsgálati mód és terjedelem), valamint a megengedhető eltéréseket is meghatározza.

3. táblázat Varratminőségi osztálybasorolás

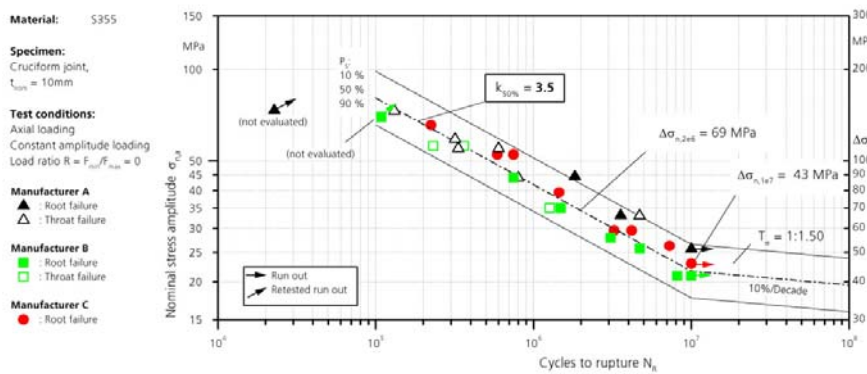
		Biztonsági kategória		
		magas	közepes	alacsony
Igény- bevételi ál-	magas	CP A	CP B	CP C2
	közepes	CP B	CP C2	CP C3
	alacsony	CP C1	CP C3	CP D

### 3. A fáradásra történő méretezés előírásai

A hegesztett vasúti járműszerkezetek fáradásra történő méretezése során az EN 12663:2000 szabvány követelményein túlmenően alapvető fontosságú a kifáradási határfeszültség értékének meghatározása. Tekintettel arra, hogy a szükséges nagyszámú fárasztóvizsgálat elvégzése költséges és időigényes, valamint a kapott vizsgálati eredmények értékelése nagyfokú tapasztalatot igényel, ezért a vasúti járműgyártás piacán meghatározó részesedéssel rendelkező rendszerintegrátorok (Alstom Transport, Bombardier Transportation, Siemens Transportation) a Fraunhofer Institute közreműködésével közös kutatócsoportot hoztak létre. A kutatómunka eredményeit az IIW 2009. évi szingapúri közgyűlésén ismertették [6].



1. ábra Tompavarratokra (butt weld joint) jellemző Wöhler (S-N) görbe



2. ábra Sarokvarratokra (cruciform joint) jellemző Wöhler (S-N) görbe

A rendelkezésünkre álló terjedelmi korlátok nem teszik lehetővé és nem is célszerű, hogy az előírások kidolgozásának alapjául szolgáló vizsgálatokat és azok megállapításait részleteiben ismertessük. Az érdeklődők számára a rendelkezésre álló bőséges szakirodalomból a [7, 8] publikációk tanulmányozását javasoljuk.

A kifáradási határfeszítés értékének meghatározására a tervezőmérnökök az alábbi előírásokat alkalmazhatják:

- Acélok esetén:
- DVS 1612:2009 [9]
  - ERRI B 12/RP 17 [10]
  - ERRI B 12/RP 60 [11]

- Alumínium és alumíniumötvözetek esetén:
- Entwurf DVS 1608:2010 [12]

Az alkalmazandó előírás tekintetében minden esetben a megrendelőnek és tervezőnek kell megállapodnia. Tekintettel arra azonban, hogy az EN 15085 szabványsorozat megjelenését követően a DVS előírásokban foglalt követelmények felülvizsgálata és harmónizációja megtörtént, ezért a gyakorlati tervezőmunka szempontjából ezen előírások alkalmazása javasolt.

A feszültségtényező értéke, a járműszerkezet biztonsági besorolása és a varratminőségi osztály közötti kapcsolatot az alábbi táblázat adja meg [9].

4. táblázat A feszültségtényező értéke, a járműszerkezet biztonsági besorolása és a varratminőségi osztály közötti kapcsolat meghatározása

Igénybevételi állapot	Feszültség-tényező	Biztonsági kategória		
		magas	közepes	alacsony
magas	$\geq 0,9 - 1,0$	CP A <sup>1)</sup>	CP B <sup>2)</sup>	CP C2 <sup>4)</sup>
közepes	$< 0,9$ $\geq 0,75$	CP B <sup>2)</sup>	CP C2 <sup>4)</sup>	CP C3 <sup>4)</sup>
alacsony	$< 0,75$	CP C1 <sup>3)</sup>	CP C3 <sup>4)</sup>	CP D <sup>4)</sup>

- 1) 100% térfogati NDT + 100% VT
- 2) 10% térfogati NDT + 100% VT
- 3) 10% térfogati NDT vagy 100% felületi NDT + 100 % VT
- 4) 100% szemrevételezés ellenőrzés

A megengedhető normálfeszültség értéke az alábbi összefüggés szerint számítható:

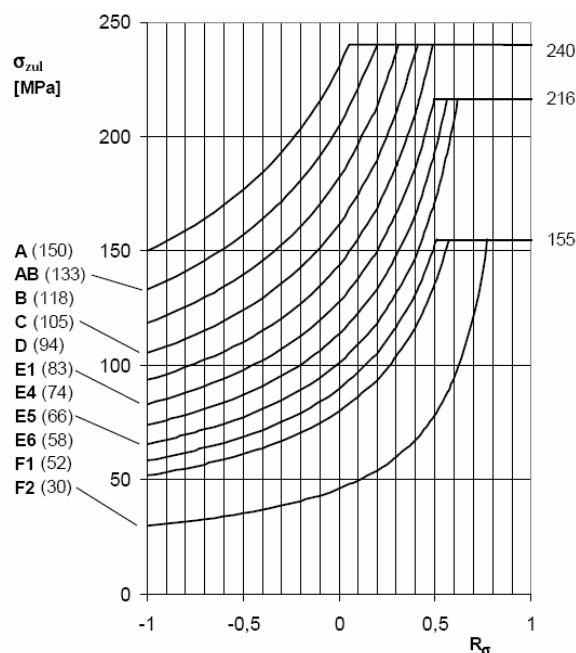
$$\sigma_{zul}(R_{\sigma}) = 150MPa * 1,04^x * \frac{2 * (1 - 0,3 * R_{\sigma})}{1,3 * (1 - R_{\sigma})} \quad (1)$$

ahol:  $R_{\sigma} = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ , az  $x$  kitevő értéke a különböző terhelési esetekre az 5. táblázat alapján határozható meg.

5. táblázat Az  $x$  kitevő értékének meghatározása

Anyagminőség	A	AB	B	C	D	E1	E4	E5	E6	F1	F2
S 355	-1	3	6	9	12	15	18	21	24	27	41
S 235	4,33	7	9	11	13						

A különböző terhelési esetekre számolt megengedhető normálfeszültségek értékeit az un. MKJ-diagramm összesíti:



3. ábra MKJ diagramm: megengedhető normálfeszültség S 355 acélminőség esetén

A DVS 1612 előírás B melléklete – az un. Bauformenkatalog – az egyes varratkialakításokhoz kapcsolódó követelményeket összesíti táblázatos formában:

Nr.	Stoß- und Nahtausbildung					Prüfart und -umfang	Schweißnahtgüteklasse nach DIN EN 15085-3	Kerfalllinie
	Darstellung	Beschreibung	Nahtart	Naht-Nr. nach DIN EN 15085-3	Nahtoberfläche bearbeitet			
1.1.1		beidseitig durchgeschweißt und einseitig durchgeschweißt mit Gegenlage	V-Naht mit Gegenlage	2c 3c 6 7	ja <sup>4)</sup>	100% ZFP-V	CP A	B
1.1.2			HV-Naht mit Gegenlage		nein	10% ZFP-V	CP B u. CP C1	C <sup>6)</sup>
1.1.3			DV-Naht		nein	Sichtprüfung	CP C2	E1
1.1.4			DHV-Naht		nein	100% ZFP-V	CP A	B
1.1.5		beidseitig durchgeschweißt <sup>1)</sup>	I-Naht <sup>1)</sup>	1c <sup>1)</sup>	ja <sup>4)</sup>	100% ZFP-V	CP A	C <sup>6)</sup>
1.1.6					nein	10% ZFP-V	CP B u. CP C1	E1
1.1.7		einseitig durchgeschweißt nicht verbleibende Badsicherung <sup>2)</sup>	I-Naht <sup>5)</sup>	1b <sup>5)</sup> 2b 2d 3b 3d	nein	100% ZFP-V	CP A	C
1.1.8			V-Naht			10% ZFP-V	CP B u. CP C1	D
1.1.9			Steißflankennaht			Sichtprüfung	CP C2	E1
1.1.10			HV-Naht			100% ZFP-V	CP A	D
1.1.11			Halbsteißflankennaht			10% ZFP-V	CP B u. CP C1	E1
1.1.12		einseitig durchgeschweißt ohne Badsicherung	I-Naht <sup>5)</sup>	1a <sup>5)</sup> 2a 3a	nein	100% ZFP-V	CP A	D
1.1.14			V-Naht			10% ZFP-V	CP B u. CP C1	E1
1.1.15			HV-Naht			Sichtprüfung	CP C2	E1-
1.1.16		beidseitig, nicht durchgeschweißt <sup>3)</sup>	DY-Naht DHY-Naht Y-Naht mit Gegenlage HY-Naht mit Gegenlage	8 9 4b 5b	nein	Sichtprüfung	CP C2	E5

4. ábra A kifáradási határfeszültség meghatározása tompavarratos kötéseknél

Az előzőekben ismertetett előírások kizárólag az ömlesztőhegesztési eljárásokkal kapcsolatos követelményeket rögzítik. A vasúti járműgyártásban azonban az ellenálláshegesztési eljárásoknak is jelentős szerepe van (pl.: a ponthegesztést elterjedten alkalmazzák a vékonylemezes járműszerkezetek (oldal- és homloklalak, tetőelemek, stb.) gyártása esetén), ezért indokolt ezen szerkezetek és kötések fáradásra történő méretezésével is foglalkozni. Az érdeklődőknek e témakörben a [13, 14]-ban foglalatokat ajánljuk.

## Összefoglalás

Előadásunkban a hegesztett járműszerkezetek fáradásra történő méretezésének előírásait mutattuk be. Tekintettel arra, hogy a vasúti járműszerkezetek élettartamát jelentősen befolyásolja a hegesztett kötések fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállása, ezért az ezen szerkezeteket tervező mérnök számára elengedhetetlenül fontos a vonatkozó előírások ismertetése és gyakorlati alkalmazása. Munkánkkal magunk is ezen ismeretek bővítéséhez kívánunk hozzájárulni, ezért a közeljövőben konkrét méretezési példák segítségével kívánjuk bemutatni a jelen előadásban ismertetett eljárások gyakorlati alkalmazását.

**Köszönetnyilvánítás** Ezúton mondunk köszönetet Dr.-Ing. Manfred Kassner úrnak (Alstom Transport Deutschland GmbH., Salzgitter) a DVS Design and Calculation Expert Committee elnökének az elméleti háttér bemutatásáért és a jelen előadás elkészítéséhez nyújtott segítségéért.

## Irodalomjegyzék

- [1] Borhy I.: Vasúti járművek és jármű részegységek hegesztésének új európai szabályozása, Proc. of XII. Országos Hegesztési Tanácskozás, Budapest 2006, pp. 201-206
- [2] MSZ EN 15085-3:2008 – Vasúti alkalmazások. Vasúti járművek és részegységek hegesztése. Tervezési követelmények
- [3] Borhy I.: Hegesztett vasúti járműszerkezetek tervezése az EN 15085 szabványsorozat alapján, Proc. of 12<sup>th</sup> Int. Welding Conf. on CD (ISBN 978-963-7154-72-0), 2008, Budapest
- [4] MSZ EN 12663:2000 Vasúti alkalmazások. Vasúti járművek kocsiszekrényeinek szilárdsági követelményei
- [5] MSZ EN 13749:2005 Vasúti alkalmazások. Vasúti járművek forgóvázkereiteinek szilárdsági követelményei
- [6] Kassner M., Küppers M., Bieker G., Moser C., Sonsino C. M.: Fatigue Design of Welded Components of Railway Vehicles – Influence of Manufacturing Conditions and Weld Quality, IIW-Doc-No-XIII-2267-09/XV-1313-09
- [7] Kassner M.: Schwingfestigkeitsauslegung von Schweißverbindungen im Schienenfahrzeugbau unter Berücksichtigung vom DIN EN 15085, Proc. of

8. Fachtagung Fügen und Konstruieren im Schienenfahrzeugbau, Halle 2009, pp. 56-63
- [8] Kassner M.: Fatigue Design of Welded Joints of Railway Vehicles, Proc. of 1<sup>st</sup> European Conference Joining and Construction of Railway Vehicles, Halle 2010, pp. 10-18
- [9] DVS 1612:2009 – Gestaltung und Dauerfestigkeitsbewertung von Schweißverbindungen mit Stählen im Schienenfahrzeugbau, DVS Media GmbH., Düsseldorf
- [10] ERRI B 12/RP 17 – Versuchsprogram für Güterwagen mit Untergestell und Wagenkonstruktion aus Stahl und deren Drehgestelle mit stählernem Drehgestellrahmen, UIC Report, Europäisches Institut für Eisenbahnforschung, 1997, Utrecht
- [11] ERRI B 12/RP 60 – Versuche zum Festigkeitsnachweis an Schienenfahrzeugen. Vorschriften für die Ausführung und für zulässige Beanspruchungen, UIC Report, Europäisches Institut für Eisenbahnforschung, 2001, Utrecht
- [12] Entwurf DVS 1608:2010 – Gestaltung und Festigkeitsbewertung von Schweißverbindungen an Aluminiumlegierungen im Schienenfahrzeugbau, DVS Media GmbH., Düsseldorf
- [13] Borhy I., Szabó P.: Lehetőségek az ellenállás ponthegeztéssel készített kötések kifáradási élettartamának előrejelzésére, Gép, LVIII. évf. 1. szám (2007), pp. 40-45
- [14] Borhy I., Szabó P.: Possibilities of Predicting the Fatigue Life of Resistance Spot Welded Joints, Hoorwood Publishing, Chichester (UK), ed.: K. Jármai, J. Farkas (ISBN 978-1-904275-28-2), 2008, pp. 201-210