



Получена: 10.02.2017 г.

Приета: 24.04.2017 г.

ПОВЕДЕНИЕ НА СТОМАНЕНИ ШПИЛКИ, СЛЕПЕНИ С КОНСТРУКТИВНА ДЪРВЕСИНА, ПРИ КОМБИНИРАНО ДЕЙСТВИЕ НА ОСОВИ И НАПРЕЧНИ СИЛИ

М. Шопски¹

Ключови думи: залепени в дървесината стоманени пръти, слепена дървесина, комбинирано въздействие

РЕЗЮМЕ

Разработена и реализирана е експериментална постановка, чрез която на група залепени в дървесината стоманени шпилки се прилага едновременно действие на осова и напречна сила. Изследвана е носещата способност и деформативността на въпросните съединителни средства при комбинирано натоварване, както и стойностите на силите при достигане до разрушение. Търси се взаимодействието (интеракционна зависимост) между опъна и срязването в една шпилка при комплексно въздействие, отнесени към носимоспособностите при частните случаи на чист опън и чисто срязване.

1. Въведение

Залепените в дървесината стоманени пръти (шпилки) са добре познати и сравнително „модерни“ средства за реализиране на съединения и усилване на зони с концентрация на напреженията в дървените конструкции. В литературата има доста разработки ([1], [2], [3], [4]), свързани с поведението на съединителните средства при натоварване на чист опън. В тези случаи залепените пръти проявяват доста добри характеристики – висока коравина, голяма носимоспособност, малки ръбови разстояния. Често обаче в реалните съединения прътите са подложени на комбинираното действие на осови и напречни сили. Този проблем не е изследван достатъчно в световен мащаб ([5], [6], [7]). За

¹ Мартин Шопски, докторант, кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: martin.shopski@gmail.com

практически цели трябва да се дефинира безопасна област на взаимодействие на отделните компоненти. Настоящата разработка е фокусирана върху разработването на опитна постановка за експериментално изследване на проблема с комбинираното въздействие на осовите и напречните сили върху залепените в дървесината стоманени пръти.

2. Експериментална работа

2.1. Опитни образци

Към момента в експерименталната програма са изпитани до разрушение 14 образца – дървени конзолни греди със залепени стоманени шпилки. Дървесината е клас GL32h, заводски изсушена до равновесна влажност $12\pm 3\%$. Размерите на напречното сечение на гредите са 180/240 mm, а дължината варира при различните образци. За нормализиране на стойностите на влажността на дървесината гредите са съхранявани два месеца на закрито при относителна влажност на въздуха $65\pm 3\%$ и температура 20 ± 2 °C. Стоманените шпилки са стандартни цинковани шпилки M12 с декларирано удължение при скъсване $> 12\%$. Изпитвани са образци с номинална дължина (дълбочина) на залепване в дървесината 120 mm и 240 mm (10d и 20d). Лепилният състав е двукомпонентно епоксидно лепило HILTI HIT-RE 500. Наименованията и основните характеристики на изпитваните образци са синтезирани в табл. 1.

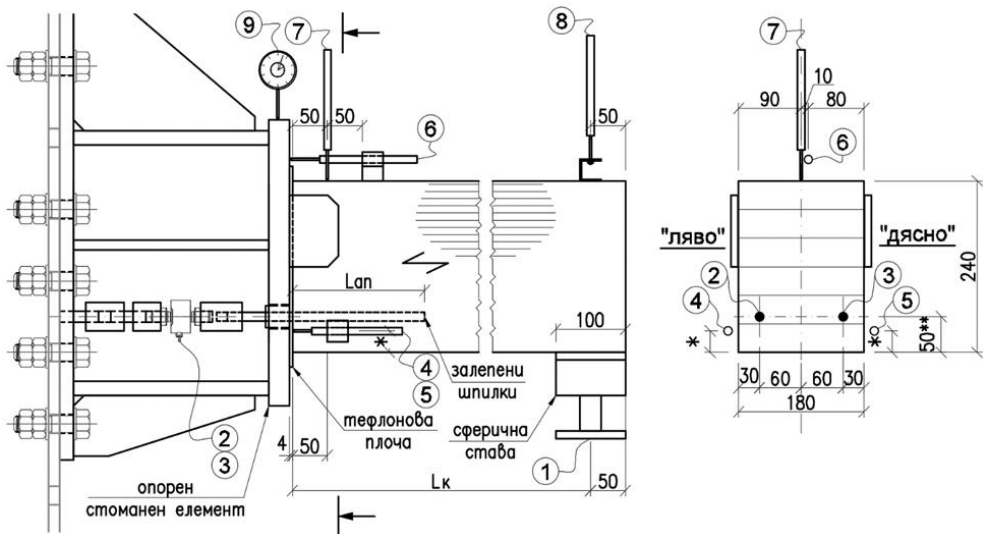
Таблица 1. Наименование и основни характеристики на изпитаните образци

№	Наименование	Диаметър шпилка, mm	Клас шпилка	L_k – дължина на конзолата, mm	L_{an} – дълбочина на залепване, mm	Разст.**, mm
1	T-M12-83/12-1	12	8.8	830	120	30
2	T-M12-83/24-1	12	8.8	830	240	30
3	T-M12-130/12-1	12	8.8	1300	120	30
4	T-M12-130/24-1	12	8.8	1300	240	30
5	T-M12-80/12-4.6	12	4.6	800	120	50
6	T-M12-80/24-4.6	12	4.6	800	240	50
7	T-M12-165/12-4.6	12	4.6	1650	120	50
8	T-M12-165/24-4.6	12	4.6	1650	240	80
9	T-M12-87/24-4.8-80	12	4.8	870	240	50
10	T-M12-87/24-4.8	12	4.8	870	240	50
11	T-M12-37/24-4.6	12	4.6	370	240	50
12	T-M12-37/24-4.6-120	12	4.6	370	240	120
13	T-M12-39/12-4.6	12	4.6	390	120	50
14	T-M12-39/24-4.6-120	12	4.6	390	240	120

2.2. Експериментална постановка

За целите на експеримента е разработена опитна постановка, която е реализирана в Учебна и научноизследователска лаборатория (УНИЛ) към катедра „Метални, дървени и пластмасови конструкции“ при УАСГ. Към универсален стенд е закрепен неподвижно помощен опорен стоманен елемент. За него посредством стоманени пръти, залепени в дървесината, е захваната конзолно хоризонтално разположена дървена греда. Натовар-

ването (преместване) се прилага стъпково, монотонно нарастващо във върха на конзолата посредством ръчно контролиран хидравличен крик. Принципна схема на експерименталната постановка с основни размери е представена на фиг. 1.



Фиг. 1. Схема на опитната постановка

Забележки към фиг. 1:

- (1) Разстоянието, означено със звездичка (*), е равно на:
 - 30 mm – за първите четири експеримента;
 - такова, че датчиците да бъдат в оста на залепените стоманени пръти.
- (2) Разстоянието, означено с две звездички (**), е 50 mm за основната част от изпитани образци. За някои обаче то е увеличено на 80 mm и 120 mm, като това е допълнително указано в особеностите на съответния опит (вж. табл. 1).



Сн. 1. Общ вид на експерименталната постановка

С така дефинираните гранични условия се създава огъващ момент и сръзваща сила в опорното сечение на конзолната греда. Огъващият момент се разлага на опънна сила в стоманените шпилки долу и натискава зона в контакта дървена греда – опорен стоманен елемент горе. Напречната сила се предава през стоманените шпилки на опорния стоманен елемент. Измервани са стойностите на осовите сили в хидравличния крик и шпилките, както и преместванията на пет характерни точки от гредата, с които да може да се опише поведението на образеца при натоварване. Допълнително е мерено и относително вертикално преместване на опорния стоманен елемент спрямо силовия под на лабораторията за получаване на верни абсолютни стойности на вертикалните премествания на гредата, които в експеримента също са мерени като относителни спрямо неподвижна точка – силовия под.

Монотонно нарастващото натоварване (преместване) във върха на конзолата се прилага на стъпки. Използван е методът на товарене с контрол по сили – на всяка стъпка се задържа постоянна стойност на силата в датчик № 1 (крика). Поради реализиране на нееластични деформации във всеки интервал коравината на елемента пада, с което намалява и силата в крика. Постоянната стойност се поддържа ръчно чрез визуален контрол на отчета от записващия софтуер и при необходимост плавно „припомпване“ на крика до достигане на необходимата стойност. Първите няколко стъпки са с нарастване на силата от 1 kN, а останалите до разрушение са с нарастване 0,5 kN. Продължителността на стъпките в различните опити е различна, като варира между 2 и 5 минути, а общата продължителност на едно изпитване е между 20 и 90 минути. Отчетите от датчици № 1 до № 8 са записвани в реално време чрез компютъризирана система за снемане на резултати Quantum MX840A на „Hottinger Baldwin Messtechnik“ (HBM). Честота на снемане на резултатите е 2 Hz или 5 Hz. Резултатите от датчик № 9 (часовников индикатор) се записват ръчно в края на всяка стъпка.

Взети са мерки за минимизиране на влиянието на несъвършенства в реалната опитна постановка, които биха оказали неблагоприятно влияние върху крайните резултати. Силата от хидравличния крик се предава на дървената греда посредством сферична става и лист PTFE (тефлон), с което се симулира хоризонтално подвижна ставна опора, на която се придава външно въздействие – вертикално преместване (сн. 2). Челната плоскост на опорния стоманен елемент е от машинно шлифувана и допълнително ръчно полирана стомана за постигане на максимална гладкост. Допълнително в контактната плоскост дървена греда – опорен стоманен елемент се поставя PTFE (тефлонова) плоча с дебелина 4 mm и смазка за минимизиране на триенето, тъй като то би могло да послужи за предаване на част от вертикалната (сръзваща) сила от гредата на опорния елемент (сн. 3).



Сн. 2. Сферична става



Сн. 3. PTFE плоча

2.3. Първоначални очаквания за резултати

Един от основните крайни резултати, който се цели да се постигне с разработката, е извеждане на потвърдена с експерименти зависимост за взаимодействието на осова и напречна сила при работата на залепена в дървесина стоманена шпилка. Уравнение на границата на „безопасната“ област би имало вида:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)^{\beta} = 1, \quad (1)$$

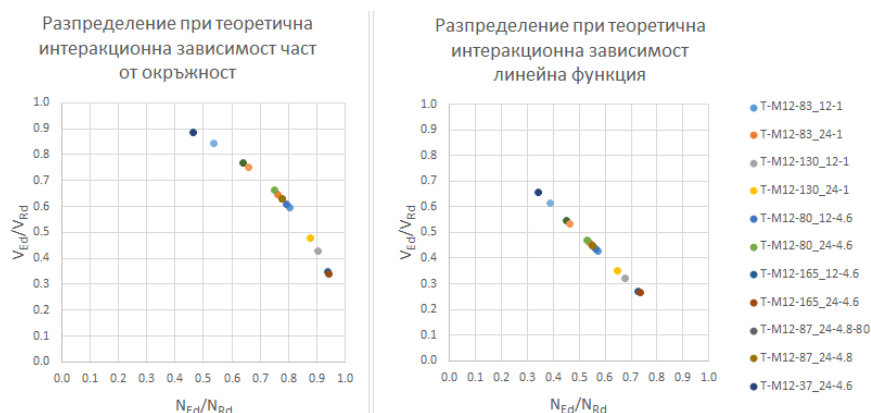
където N_{Ed}, V_{Ed} са осова и напречна сила в пръта (шпилката);

N_{Rd}, V_{Rd} – носимоспособности за осова и напречна сила в пръта (шпилката);

α, β – степенни показатели – реални числа.

На база на геометрията на експерименталната постановка би могло да се направи теоретически обосновано предположение за стойностите на силите в шпилките N_{Ed} и V_{Ed} , респективно и силите в хидравличния крик, при които биха се разрушили различните реално изпитани образци (фиг. 2). Използвани са някои идеализиращи предпоставки, приети са различни варианти на стойностите на носимоспособностите N_{Rd} и V_{Rd} на база на анализ на литературни данни за изведените характеристични стойности ([6], [7], [8]). Важно тук е да се отбележи механизмът на разрушение при съответните теоретично изведени носимоспособности:

- при определяне на носимоспособността за осови сили N_{Rd} се приема изтръгване на пръта (шпилката) от опън вследствие на разрушение от срязващи (хлъзгащи) напрежения в дървесината, лепилния слой или на границата между някой от компонентите прът, лепило и дървесина;
- при определяне на носимоспособността за напречни сили V_{Rd} се приема описаният в точка 8.2 на БДС EN 1995-1-1 [9] модел за определяне на носимоспособността на клечковидни свързващи елементи. Направени са някои модификации, които да отговарят на особеностите на разглежданите съединители – пръти, залепени в челото на елемент от дървесина успоредно на влакната [6].



Фиг. 2. Предполагамо разпределение на взаимодействието на осови и напречни сили за изпитаните образци (на база теоретични постановки, предпоставки и изчисления)

3. Резултати

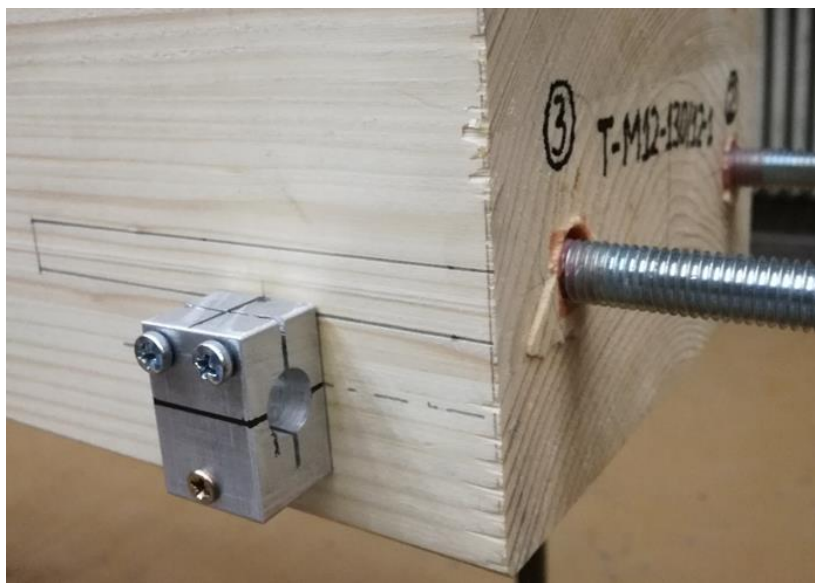
3.1. Развитие на експериментите

Изпитването е проведено изцяло в Учебна и научноизследователска лаборатория (УНИЛ) към катедра „Метални, дървени и пластмасови конструкции“ при УАСГ. Хронологично образците от първия етап на научната тема биха могли да се разделят на две основни групи:

- *I група* – обхващаща първите четири образца (вж. табл. 1);
- *II група* – обхващаща останалите десет образца.

Първоначално бе предвидено реализирането на серия от тестови изпитвания, с които да се провери техниката, методите на изпитване и адекватността на предварителните приблизителни изчисления. Това са образците от *I група* – конзолни греди с дължина 830 mm и 1300 mm и дълбочина на залепване 120 mm и 240 mm.

За гредите с дълбочина на залепване 120 mm се наблюдава разрушение от опън, породено от срязване (хлъзгане) в дървесината. На сн. 4 се вижда изтръгване на „цилиндър“ от лепило и значително количество дървесни влакна около шпилката. Този тип на разрушение от опън е характерен при използване на лепилен състав на епоксидна основа. Видимо няма деформация или поява на пукнатина вследствие на действието на напречна сила.



Сн. 4. Образец Т-М12-130/12-1 след разрушение

За установяване на вероятна зона на пластифициране на дървесината или шпилката под действие на напречна сила съгласно теорията на K.W. Johansen [10] и т.нар. Европейски модел на граничните състояния (European Yield Model – EYM) за носимоспособността на клечковидни съединителни средства в дървесина е направено разрязване през шпилката. Не се наблюдават признаци за достигане до пластифициране на нито един от компонентите (сн. 5).

Образците от *I група* с дълбочина на залепване 240 mm се характеризират с поява на пукнатина по направление на шпилките, която се развива първоначално в опорното сечение и нараства към върха на конзолата. За *T-M12-83/24-1* при натоварване се появява и развива пукнатина, последвана от пад на силата в крика от сериозно спукване на сечението, но се запазва остатъчна носимоспособност за осови сили. В крайна сметка образецът се разрушава от опън вследствие на срязване (хлъзгане) в дървесината (сн. 6).



Сн. 5. Разрязан образец T-M12-83/12-1 след разрушение



Сн. 6. Образец T-M12-83/24-1 след разрушение

За изясняване на възможните причини за поява на тези пукнатини и затвърждаване на предположението за закономерност при тяхното развитие е предвидено изпитване на допълнителна *II група* тестови образци. Реализирано е вариране на следните параметри:

- Разстояние на залепване на шпилките от долен ръб на гредата. С приемането на по-голямо разстояние се цели да се провери дали е възможно изцяло да се елиминира появата на пукнатина.
- Клас на шпилката – от проведените експерименти в *I група* е установено, че не се реализира значително завишаване на носимоспособностите за осови сили на залепените шпилки спрямо първоначално очакваните стойности. По тази причина класът на използваните шпилки 8.8 е намален на 4.6 и 4.8. С тези по-ниски якости на стоманата е по-реалистично образуването на пластична става в шпилките вследствие действието на напречна сила, познато от теорията на Johansen и ЕУМ.
- Дължината на конзолата – изпитани са образци с малка дължина, при които би следвало влиянието на завъртането на гредата като твърдо тяло и в опорното сечение да е по-малко. Допълнително отношението на напречните сили спрямо осовите в шпилките би следвало да бъде по-голямо, с което при вече изградената опитна постановка да се провери начинът на разрушение на гредата при условия, близки до чисто срязване.

Изпитаните във *II група* тестови образци не дават признаци за качествено по-различно поведение при разрушение от образците от *I група*. Разрушението в почти всички случаи е съпроводено с поява на пукнатина по дължина на залепените пръти в опорното сечение (вж. и табл. 4).

3.2. Резултати и анализ

Изпитаните греди биха могли да се разделят на два основни типа според характера на настъпване на крайно гранично състояние (разрушение):

- Изтръгване/разрушение от опън – характерно (с едно изключение) за образците с дължина на залепване на шпилката 120 mm. Тук се включват случаите, при които е изчерпана носимоспособността на съединителите за осови сили, преди да е настъпил коментираният в точка 3.1 драстичен пад на прилаганата сила в хидравличния крик, резултат от поява на сериозни пукнатини. Не е настъпило и разрушение от напречна сила по теорията на Johansen и ЕУМ за клечковиден съединител.
- Спукване/разрушение от напречна сила – характерно за гредите с дължина на залепване на шпилките 240 mm. Обхваща случаите на греди, при които освен поява на пукнатини в зоната на шпилките (сн. 6) в определен момент се получава сериозен и рязък пад на силата в крика. Това е разрушение на цялата греда в зоната на шпилките от напречната сила. При реална конструкция с вертикален (гравитачен) товар това състояние би довело до крайно гранично състояние. Поради естеството на експеримента обаче (силата се прилага отдолу нагоре) в момента на въпросното сериозно разпукване на сечението коравината на гредата рязко намалява, което рефлектира върху споменатия „драстичен пад“ на силата в хидравличния крик.

В табл. 2 са представени максималните стойности на силите в датчици номер *1, 2* и *3*, респективно в хидравличния крик и двете шпилки, получени от експериментите. Моментът на разрушение на съединителните средства (стоманени шпилки, залепени в дървесината) може да не съвпада с момента на достигане на максималната осова сила в тях. При разрушението тип „спукване“ (вж. табл. 4) след настъпване на драстичния пад

на силата в крика се запазва остатъчна носимоспособност за осови сили. При последващо натоварване е достигнато до разрушение от опън – изтръгване на шпилките. Преди това появата на видима пукнатина на повърхността на гредата е регистрирана визуално в етапа на задържане на постоянна стойност на силата в крика. Във всички случаи се приема, че напречната сила за гредата, съответстваща на силата в хидравличния крик, се разпределя по равно между двете шпилки, от които се предава на опорния стоманен елемент.

3.2.1. Максимални осови сили в шпилките

Проблемът с определянето на носимоспособността на залепените в дървесина стоманени пръти (шпилки), подложени на чист опън, е изследван подробно от много учени, които са достигнали до различни формули и зависимости. Резултатите за случаите на изследваните в експеримента образци съгласно препоръките на някои нормативни документи ([6], [7], [8]) са представени в табл. 3. Графата „Предположение за средни стойности“ представлява опит, обоснован на изчисления, с приемане на различни предпоставки, да се определи възможната средна стойност на така дефинираните в нормите характеристични и изчислителни носимоспособности.

Таблица 2. Максимални сили в силомерите и съответните компоненти

№	Наименование	Максимална сила в крик 1, kN	Максимална сила [kN] в тензодога при		при съответна сила в крика, kN	
			шп. 2	шп. 3	за шп. 2	за шп. 3
1	T-M12-83_12-1	9.0	38.0	14.9	9.0	7.0
2	T-M12-83_24-1	11.1	24.9	29.1	11.1	7.3
3	T-M12-130_12-1	7.5	31.6	25.5	7.5	3.9
4	T-M12-130_24-1	9.5	32.2	36.4	9.5	9.5
5	T-M12-80_12-4.6	9.2	24.0	30.4	9.2	7.8
6	T-M12-80_24-4.6	14.1	39.0	30.1	11.6	14.1
7	T-M12-165_12-4.6	7.5	42.2	33.7	5.5	7.5
8	T-M12-165_24-4.6	10.6	49.8	48.3	6.2	10.6
9	T-M12-87_24-4.8-80	9.6	26.9	28.3	9.6	9.6
10	T-M12-87_24-4.8	13.6	31.6	32.2	13.6	13.5
11	T-M12-37_24-4.6	9.0	9.5	10.3	9.0	8.8
12	T-M12-37_24-4.6-120	10.5	17.6	17.5	10.5	10.5
13	T-M12-39_12-4.6	8.0	8.4	10.6	7.1	7.5
14	T-M12-39_24-4.6-120	13.4	30.3	16.4	13.4	13.4

Таблица 3. Изчислени носимоспособности на слепени шпилки за осови сили

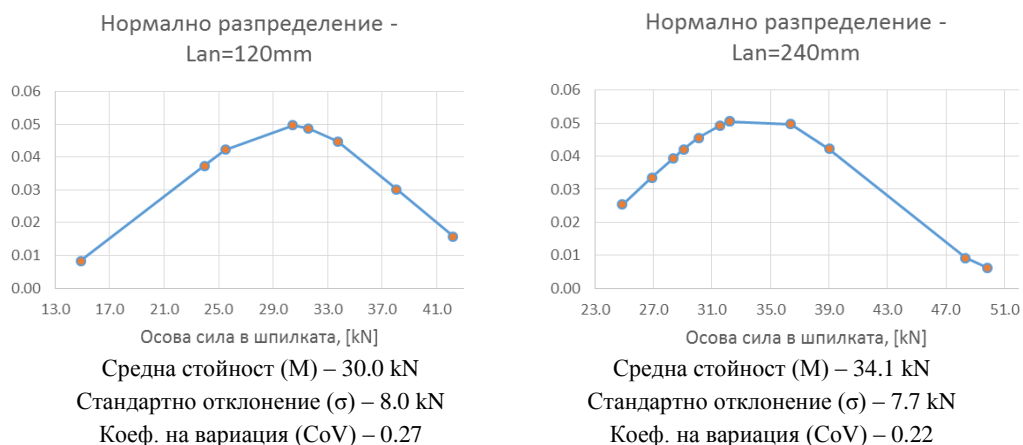
L_{an} , mm	Носимоспособност за осови сили, [kN]			Предположение за средни стойности		
	DIN 1052:2004	ENV 1995-2:1997	СП 64.13330.2011	на база DIN 1052:*	на база ENV 1995-2*	на база СП 64.13330.2011*
	характерист.	характерист.	изчислителна	средна	средна	средна
120	18.1	36.4	11.4	(22.6)	(45.5)	(22.2)
240	36.2	46.4	19	(45.3)	(58.0)	(37.1)

*Забележка: Носимоспособностите в графата „Предположение за средни стойности“ са базирани на приет коефициент на вариация на резултатите при определяне на характеристичните стойности $CoV = 0,12$.

Таблица 4. Сили в момента на разрушение от напречна сила/спукване

№	Наименование	Първа пукнатина при сила в крика, kN		Драстичен пад на силата в крика от спукване при сила, kN	при съответна сила в тензодозите, kN		Тип на разрушението
		в шп. 2	в шп. 3		за шп. 2	за шп. 3	
1	T-M12-83_12-1	-	-	-	-	-	изтръгване
2	T-M12-83_24-1	5.5	5	10.8	23.5	26.6	спукване
3	T-M12-130_12-1	-	-	-	-	-	изтръгване
4	T-M12-130_24-1	9	8.5	9.5	32.2	36.4	спукване
5	T-M12-80_12-4.6	-	-	-	-	-	изтръгване
6	T-M12-80_24-4.6	11.5	13.5	14.1	32.6	30.0	спукване
7	T-M12-165_12-4.6	-	-	-	-	-	изтръгване
8	T-M12-165_24-4.6	9.5	10	-	-	-	изтръгване + спукване
9	T-M12-87_24-4.8-80	5	6	9.3	25.8	27.5	спукване
10	T-M12-87_24-4.8	8	11	13.5	31.3	32.2	спукване
11	T-M12-37_24-4.6	-	7.5	8.8	8.6	10.3	спукване
12	T-M12-37_24-4.6-120	6	6.5	10.5	17.6	17.5	спукване
13	T-M12-39_12-4.6	8	7.3	8.0	7.9	10.3	спукване
14	T-M12-39_24-4.6-120	7.5	9	13.4	30.3	16.4	спукване

Извършен е статистически анализ на получените в експериментите максимални стойности на осовите сили в шпилките при различните опити (фиг. 3) и е направена съпоставка с теоретичните стойности. Трябва да се подчертае, че проведените експерименти не са изпитване на чист опън, а присъства и напречна сила, която оказва своето влияние върху носимоспособността. Гредите от образците с дължина на конзолата 370 mm и 390 mm са изключени от този анализ, тъй като при тях влиянието на напречните сили е прекалено голямо и резултатите за осовите сили са силно повлияни.



Фиг. 3. Графика на функцията на плътност на вероятността / нормално разпределение на стойностите на осовите сили в шпилките. Ляво: L_{an} = 120 mm. Дясно: L_{an} = 240 mm

На фиг. 3 е видно относително голямото разсейване на резултатите. Следва да се отбележи, че гредите с дължина на конзолата L_k = 1650 mm дават двете големи стойнос-

ти на фигурата вдясно, както и една от големите стойности на фигурата вляво. Анализирани данни от експериментите биха могли да се обобщят в следното:

- Дължината на конзолата L_k , респективно стойността на напречната сила в шпилката, оказва влияние върху носимоспособността за осови сили. При по-малко влияние на напречните сили (по-дълга конзола) стойностите на реализираните максимални осови сили в шпилките са по-големи (вж. и уравнение (1)).
- Получените в експериментите средни стойности на максималните осови сили в шпилките са доста близки за двете дължини на залепване 120 mm и 240 mm. Трябва да се отбележи и разликата в типа на разрушение между двете групи. При гредите с $L_{an} = 240$ mm появата на пукнатини вероятно силно намалява капацитета на съединителя за поемане на осови сили.

За образците с $L_{an} = 120$ mm е търсено сравнение със стойностите, получени в табл. 3 съгласно предписанията на предварителния стандарт ENV 1995-2:1997 [7]. Средната стойност на максималната сила в шпилките за образците с $L_{an} = 120$ mm, при които разрушението е от тип „изтръгване“, е 30 kN – по-ниско от предписаните в ENV 1995-2 характеристична носимоспособност в частния случай на чисто осово натоварване. Тази по-ниска стойност, при която се разрушават шпилките в експериментите, би могла да се обясни с влиянието на наличните напречни сили.

3.2.2. Взаимодействие на осовите и напречните сили

В повечето от случаите на изпитани образци е достигнато до изтръгване на шпилката / разрушение от опън, дори и след настъпилото преди това разрушение тип „спукване“. Резултатите са систематизирани в табл. 5, като е направено разделение на „първа“ и „втора“ шпилка по последователността им на разрушение. Характерно за шпилките, които се разрушават „втори“ е, че след изтръгването на „първата“, те изведнъж (рязко) започват да носят цялата опънна сила в съединението.

С така дефинираната подредба на разрушение на шпилките, нормираните в DIN1052:2004 [6] и ENV1995-2:1997 [7] характеристични стойности на носимоспособност за чист опън и чисто срязване и стойностите на силите в момента на разрушение са построени интеракционни зависимости – фиг. 4. Следва да се отбележи, че за случая на разрушение тип „изтръгване“, използваните за този анализ сили са представените в табл. 5. Ако случаят е на „спукване“ на гредата, действащите в момента на приетото разрушение сили са представени в табл. 4. Двата разглеждани нормативни документа предписват приемане на квадратична зависимост на взаимодействието на осови и напречни сили за залепените в дървесина пръти от типа:

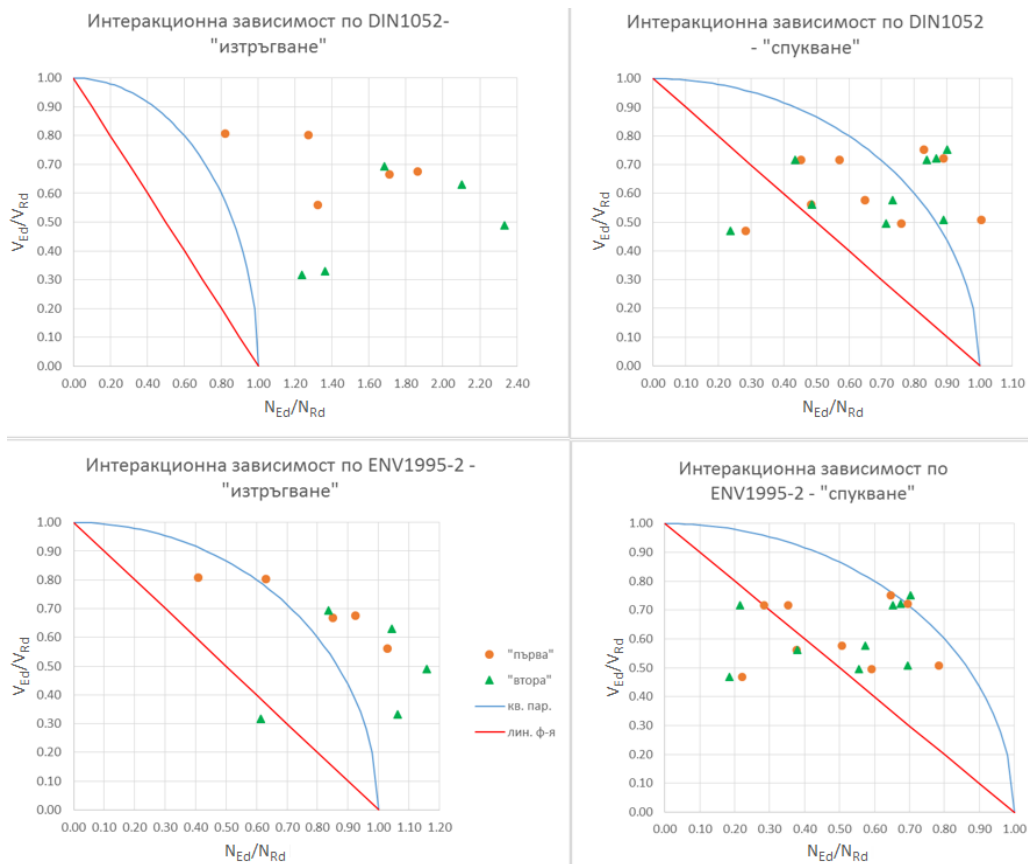
$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1. \quad (2)$$

След анализ на данните и графиките от фиг. 4 са формирани следните заключения:

- DIN1052 [6] предписва значително по-ниски стойности на носимоспособностите за осови сили от ENV1995-2 [7]. Вследствие на това за случаите на разрушение тип „изтръгване“ резултатите по DIN1052 са доста далеч от ограничената от формула (2) квадратна парабола на взаимодействие. Стойностите, получени при определяне на носещата способност по ENV1995-2,

са доста по-близо до теоретично дефинираната крива на взаимодействие. С малки изключения спазването на формула (2) при изчисления би следвало да дава резултати в безопасната област.

- При поява на пукнатини от действието на напречна сила, характерно за разрушение тип „спукване“, приемането на взаимодействие на осовите и напречните сили под формата на квадратна парабола не е в полза на сигурността. Получените в експеримента резултати са доста по-близки до линейна зависимост, дори може да се търси крива, която ограничава още по-малка безопасна област.



Фиг. 4. Итеракционни зависимости при различни условия:

Горе вляво: Носимоспособности по DIN1052:2004, разрушение тип „изтръгване“

Горе вдясно: Носимоспособности по DIN1052:2004, разрушение тип „спукване“

Долу вляво: Носимоспособности по ENV1995-2:1997, разрушение тип „изтръгване“

Долу вдясно: Носимоспособности по ENV1995-2:1997, разрушение тип „спукване“

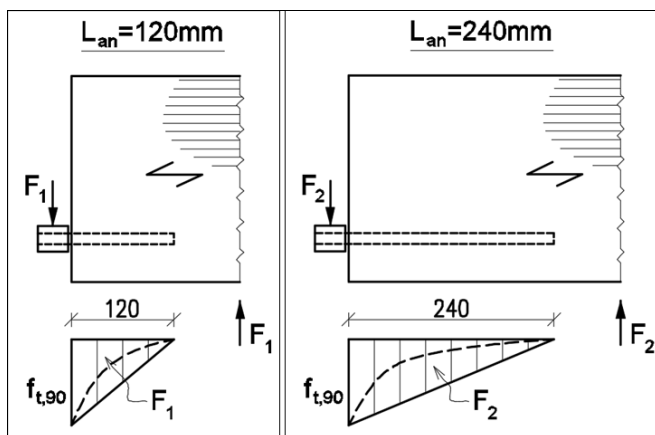
Таблица 5. Сили в момента на разрушение от опън/изтръгване

№	Наименование	Шпилка 2 се разруш.	при опънна сила в нея, kN	при съотв. сила в крика, kN	Шпилка 3 се разруш.	при опънна сила в нея, kN	при съотв. сила в крика, kN
1	T-M12-83_12-1	втора	38.0	7.0	първа	14.9	9.0
2	T-M12-83_24-1	първа	14.3	7.8	втора	29.1	7.3
3	T-M12-130_12-1	първа	31.0	7.5	втора	22.3	3.6
4	T-M12-130_24-1	-	-	-	-	-	-
5	T-M12-80_12-4.6	първа	23.0	9.0	втора	30.5	7.8
6	T-M12-80_24-4.6	втора	34.2	10.3	първа	14.0	11.2
7	T-M12-165_12-4.6	втора	42.2	5.5	първа	33.7	7.5
8	T-M12-165_24-4.6	втора	49.3	6.2	първа	47.8	10.5
9	T-M12-87_24-4.8-80	втора	18.3	4.9	първа	8.0	2.7
10	T-M12-87_24-4.8	втора	15.8	6.7	първа	20.7	7.7
11	T-M12-37_24-4.6	-	-	-	-	-	-
12	T-M12-37_24-4.6-120	-	-	-	-	-	-
13	T-M12-39_12-4.6	-	-	-	-	-	-
14	T-M12-39_24-4.6-120	-	-	-	-	-	-

3.2.3. Обяснение на разрушението тип „спукване“

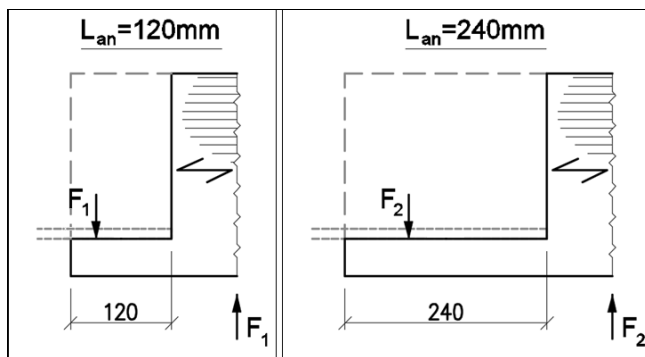
Всички образци имат минимални ръбови разстояния на залепване на шпилките, съобразени с препоръките на DIN 1052 [6]. Въпреки това обаче за гредите с дълбочина на залепване на рътите 240 mm се появява разрушението тип „спукване“.

При приемане на теорията, че напречното натоварване създава напрежения на опън перпендикулярно на влакната в зоната на шпилките (фиг. 5), бихме получили зависимостта на носимоспособностите $F_1 \leq F_2$. Във всички експерименти обаче за греди с еднаква геометрия и разлика единствено в дълбочината на залепване на шпилките гредата с $L_{an} = 120$ mm се разрушава при опън, а в тази с $L_{an} = 240$ mm се развива пукнатина при относително ниски стойности на силата в крика, т.е. $F_1 \geq F_2$. Очевидно подобно обяснение не съответства на практическите резултати, затова е търсена алтернатива.



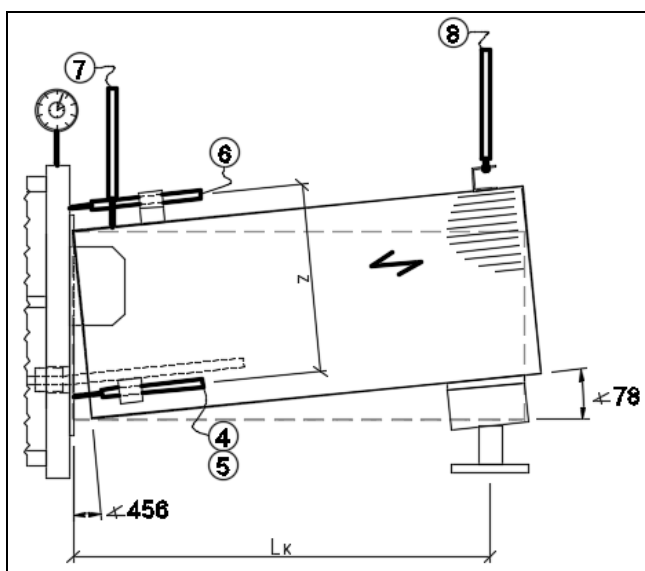
Фиг. 5. Диаграма на напреженията на опън перпендикулярно на влакната

Търсена е аналогия на работата на опитните образци с обърнат вариант на греда с подрязване при опората (фиг. 6). Поради концентрацията на напреженията в зоната на зарязването получената носимоспособност би била $F_1 \leq F_2$, която отговаря качествено и на полученото в експериментите. Остава съмнение обаче, че валидността на теорията за греда с подрязване е за отношение на размерите на подрязването до около 1:1. Тук по-скоро имаме случай на дълга конзола и носимоспособността за напречни сили не се влияе толкова от концентрацията при подрязването.



Фиг. 6. Аналогия с обърната греда с подрязване при опората

Направен е опит да се обясни феноменът „спукване“ геометрически – чрез търсене на определен ъгъл на завъртане на гредата, при който се появява пукнатината, или поява на напречни деформации (фиг. 7). При завъртане на дървената греда като твърдо тяло запънатата в опорната плоча стоманена шпилка се опитва да се съпротивлява. Колкото по-дълга е шпилката, толкова по-голям стремеж за отцепване на дървесината във върха на шпилката има. От данните от проведените експерименти обаче не може да се изведе категорична зависимост или някаква тенденция на отцепване.



Фиг. 7. Обяснение с геометрическо завъртане и напречни деформации

4. Заключение

За целите на научното изследване е разработена и реализирана опитна постановка за изпитване на дървени греди със залепени стоманени шпилки, чрез която се постига едновременно натоварване на шпилките с осова и напречна сила. В УНИЛ към катедра „Метални, дървени и пластмасови конструкции“ при УАСГ са реализирани 14 експеримента с вариране на стойностите на дължината на конзолната греда, дълбочината на залепване на прътите и ръбовото разстояние на шпилките до долен ръб греда.

При различните изпитани образци се наблюдава качествена разлика в типа на разрушението – т.нар. „изтръгване“ и „спукване“. При разрушение преимуществено от опън познатите от различни нормативни документи правила и препоръки дават задоволителни резултати в полза на сигурността. При „спукване“ обаче следването на дефинираното взаимодействие може да бъде неблагоприятно. Спукването на напречното сечение по дължина на залепените шпилки е отделен проблем, който не се третира в нормативните документи и повечето литературни източници. Би следвало да се внесат допълнителни правила или препоръки, с които да се отчете влиянието му.

Резултатите от проведените експерименти обаче поставят много въпроси. Оформи са насоки за последващ анализ:

- Поставя се под съмнение сигурността, която дефинира препоръчаната в различни нормативни документи квадратична крива на взаимодействие на осовите и напречните сили при залепените в дървесината стоманени пръти – неравенство (2). Възможно е дадените формули да са валидни при ограничени условия, които не са посочени в съответните документи. В проведените експерименти обаче има редица случаи на разрушение, които не би трябвало да се реализират при изчисление по предписанията.
- На критичен анализ би следвало да се подложат препоръчителните стойности за минимални ръбови разстояния, на които трябва да се залепват шпилките при наличие на напречна компонента във външното натоварване.
- Трябва да се определят причините за появата на пукнатините, съпътстващи разрушението на образците с дълбочина на залепване на прътите 240 mm.
- При определяне на носимоспособността за напречни сили по теорията на Johansen и ЕУМ за клечковиден съединител, какъв би следвало да е допълнителният принос на опънната компонента от деформираната геометрия на съединителя? Възможно ли е въобще да се говори за принос, при положение че получената в експериментите деформация е много малка и не се наблюдават признаци за никакво разрушение от смачкване напречно на влакната?

Може да се заключи, че по проблематиката на научната разработка има доста неясноти. В бъдеще се планува експерименталната програма да продължи, като се търси обяснение на наблюдаваните феномени и се работи за постигане на първоначално поставените цели.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-85/2016 е финансово подкрепена от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ribenholt, H.* Glued Bolts in Glulam. Paper 19-7-2. In: Proceedings of the 19th conference of CIB-W18, Florence, Italy, 1988.
2. *Johansson, C. J. и коллектив.* Axial Strength of Glued-In Bolts – Calculation Model Based on Non-Linear Fracture Mechanics – A Preliminary Study. Paper 28-7-9. In: Proceedings of the 28th conference of CIB-W18, Copenhagen, Denmark, 1995.
3. *Blass, H. J., Laskewitz, B.* Effect of Spacing and Edge Distance on the Axial Strength of Glued-in Rods. Paper 32-7-12. In: Proceedings of the 32nd conference of CIB-W18, Graz, Austria, 1999.
4. *Steiger, R. и коллектив.* Glued-in Steel Rods: A Design Approach for Axially Loaded Single Rods Set Parallel to the Grain. Paper 37-7-8. In: Proceedings of the 37th conference of CIB-W18, 2004.
5. *Jensen, J. L., Quenneville, P.* Connections with Glued-in Rods Subjected to Combined Bending and Shear Actions. Paper 42-7-9. In: Proceedings of the 42nd conference of CIB-W18, 2009.
6. DIN 1052:2004. Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau.
7. ENV 1995-2:1997. Design of Timber Structures – Part 2: Bridges.
8. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции.
9. БДС EN 1995-1-1. Проектиране на дървени конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.
10. *Johansen, K. W.* Theory of timber connections. International Association for Bridge and Structural Engineering, No. 48, 1949.

GLUED-IN STEEL RODS SUBJECTED TO COMBINED AXIAL AND LATERAL LOADING

M. Shopski¹

Keywords: glued-in rods, glulam, combined loading

ABSTRACT

An experimental program is undertaken to assess the ultimate load bearing capacity and deformability of steel threaded rods glued into timber under the combined action of axial and lateral loading. A definition of an interaction between tensile and shear loads for a single glued-in rod is sought. The values of failure loads are recorded and analyzed, a comparison with the special cases of pure tension and pure shear is made.

¹ Martin Shopski, PhD Student, Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: martin.shopski@gmail.com