

УДК 629.113.011

**А.П. Фалалеев, доцент, канд. техн. наук,****А.А. Ветрогон, доцент, канд. техн. наук,****В.Н. Торлин, профессор, д-р техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053***ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ КУЗОВНЫХ БАЛОК НА ИХ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПОСЛЕ РЕМОНТА**

*Рассматривается методика оценки качества ремонта балок основания кузова автомобиля, основанная на решении задачи теории пластичности для балки с деформационной анизотропией, приобретенной конструкцией при ДТП и измененной при ремонте. Показано влияние деформационной анизотропии на несущую способность конструкции после ремонта.*

**Ключевые слова:** качество ремонта кузова, деформационная анизотропия, несущая способность.

**Постановка проблемы.** Известно, что после ремонта кузова автомобиля его эксплуатационные показатели снижаются [1]. Для продольных и поперечных балок кузова основным показателем является несущая способность [2]. На несущую способность балок существенное влияние оказывают физико-механические свойства материала, а как известно, при силовом воздействии металлы упрочняются. Локальное силовое воздействие на балку инициирует в материале неравномерное поле пластических деформаций, формирующее поля деформационной анизотропии, не исчезающие при выполнении операций кузовного ремонта [1]. Для оценки влияния деформационной анизотропии на несущую способность основных элементов кузова после ремонта необходимо разработать математические модели, связывающие изменяющиеся физико-механические свойства материала элементов конструкции с показателями их несущей способности.

**Анализ публикаций.** Впервые влияние показателей анизотропии материала на напряженно-деформированное состояние твердых тел было показано в [3], где подробно описаны все возможные случаи возникновения анизотропии физико-механических свойств. В [4] рассмотрены математические модели, позволяющие исследовать влияние повторных нагружений элементов конструкции ремонтными нагрузками на физико-механические свойства материала конструкции и ее основные показатели работоспособности. В [5] изложена теория пластической деформации балок с учетом упрочнения материала. В работе [6] приводятся результаты экспериментальных исследований стали 08кп, где показано, что стали данного класса способны упрочняться в направлении силового воздействия, приводятся модели и цифровые показатели анизотропии данной стали при пластическом упрочнении.

**Цель и постановка задачи.** Целью настоящей работы является разработка критериев оценки качества ремонта балок основания кузова автомобиля, основанных на решении задач теории пластичности для упрочняющегося материала.

Для достижения этой цели необходимо рассмотреть ряд задач теории пластичности для элементов конструкции с деформационной анизотропией физико-механических свойств материалов, возникающей при деформации упрочняющихся материалов, что позволит составить критериальную основу оценки качества ремонта.

**Материалы и результаты исследования.** Известно, что стали, используемые для изготовления кузовов автомобилей [6], типа 08кп, имеют предел текучести от  $\sigma_T = 154$  МПа до 220 МПа и предел прочности до 400 МПа, т.е. упрочнение составляет около 200 % и это в направлении деформирования, а в двух остальных направлениях происходит разупрочнение, т.е. возникает анизотропия физико-механических свойств.

Для изучения процесса деформации прямоугольной балки в пластической области со степенным упрочнением. Центр осей координат расположен в середине балки: ось  $X$  – вдоль оси балки, ось  $Y$  – горизонтально, ось  $Z$  – вертикально, длина деформированной части  $2a$ , ширина  $2b$ , высота сечения  $2h$ . Для определения прогиба балки от боковой силы  $P_y$ , моделирующей боковой удар автомобиля в направлении  $Y$ , рассмотрим уравнение [5]

$$K(\sigma)J_z \left( 2h \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right)^{n-1} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = P_y a / 2, \quad (1)$$

где  $K(\sigma) = 9/8 \sigma_T$ ;  $J_z$  – момент инерции сечения балки относительно нейтральной в данном случае оси  $Z$ ;  $v(x)$  – прогиб балки в направлении  $Y$ ;  $\sigma_T$  – предел текучести материала балки;  $n$  – показатель степени в законе упрочнения ( $n=3..5$ ):

$$\sigma = \sigma_T \varepsilon^n. \quad (2)$$

Проинтегрируем уравнение (1) при  $n=3$  с граничными условиями на поврежденном участке при  $x = -a$ :  $v(x) = C_1$ , при  $x = a$ :  $v(x) = C_2$ , где  $C_1$  и  $C_2$  – жесткости границ перехода от пластической зоны к упругой.

В общем виде решение (1)-(3) представляется следующим образом

$$v(x) = (x^2 - a^2)R/2, \quad (4)$$

где  $R = [aP_y / (4hK(\sigma)J_z)]^{1/3}$ .

Для исследования характера образовавшихся в направлении  $Y$  зон упрочнения найдем нормальные напряжения с помощью найденного выражения для прогиба балки  $v(x)$  [5]

$$\sigma_x = -K(\sigma) \left( y \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right)^{n-1} y \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}, \quad (5)$$

С помощью модели (4)-(5) определим характер распределения нормальных напряжений в сечении  $x=0$  при следующих исходных данных ( $a=0,1\text{м}$ ;  $b=0,04\text{м}$ ;  $h=0,05\text{м}$ ;  $\sigma_T = 154 \text{ МПа}$ ;  $n=3$ ;  $P_y = 8 \cdot 10^3 \text{ Н}$ ), рисунок 1.

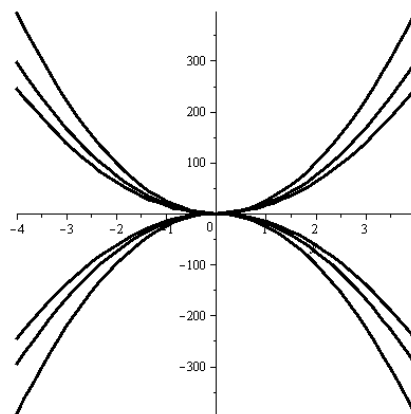


Рисунок 1 – Распределение нормальных напряжений в сечении  $x=0$

Для нахождения линий упрочнения построим функцию (4) в зоне растяжения от  $-a$  до  $a$ , рисунок 2.

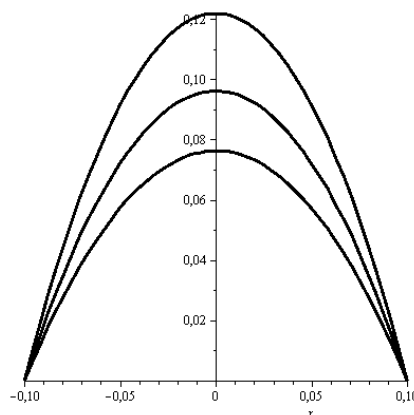


Рисунок 2 – Линии пластических деформаций в зоне повреждения балки

Сопоставляя напряжения на линиях пластических деформаций с величиной  $\sigma_T$ , видим, что вдоль этих линий материал упрочнился на 28-40%.

На следующем этапе были проанализированы свойства материала балки после реверсной нагрузки ее при рихтовке, для чего использовалась кривая деформирования, представленная на рисунке 3.

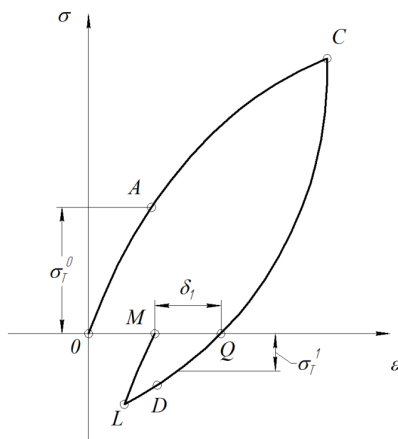


Рисунок 3 – Кривая реверсного деформирования при рихтовке

Данную гистерезисную кривую для стали 08кп, используя метод сплайн-интерполяции, можно представить в виде выражения [7]

$$K(\sigma) = \begin{cases} 0,2235 - 0,1796x - 0,0277x^3, & x < 1; \\ 0,2789 - 0,2627x - 0,0831(x-1)^2 + 0,1181(x-1)^3, & x < 2; \\ -0,0623 - 0,0745x - 0,2712(x-2)^2 + 0,0735(x-2)^3, & x < 4; \\ -0,3782 - 0,1287x - 0,1696(x-2)^2 + 0,0565(x-2)^3, & x \geq 4. \end{cases} \quad (6)$$

Выражение (6) позволяет определить величину упрочнения в каждой точке кривой, рисунок 3, после приложения реверсной нагрузки и величину остаточной деформации  $\delta_i$  в каждой точке, что дает возможность определить константы анизотропии материала после рихтовки.

Далее исследуем изменение несущей способности данной балки в плоскости  $XOZ$ , перпендикулярной плоскости  $XOY$ , первоначального воздействия силой  $P_y$ , т.к. в конструкции балка работает в плоскости  $XOZ$  под действием вертикальной нагрузки  $P_z$ . Для определения предельного состояния балки с возникшей ортотропной анизотропией воспользуемся теорией пластичности Хилла [8], в соответствии с которой необходимо найти эквивалентное напряжение  $\sigma_{э\kappa\theta}$ , величина которого для плоскости  $XOZ$  определится по следующей зависимости

$$\sigma_{э\kappa\theta} = \left[ 3/2(R_x + 1)/(R_x + R_x R_y + R_y) \right]^{1/2} \sigma_x, \quad (7)$$

где  $R_x = H_0/G_0$ ,  $R_y = H_0/F_0$ ,  $H_0$ ,  $G_0$ ,  $F_0$  – параметры первоначальной анизотропии Хилла, определяемые по формулам

$$H_0 = 1/2 \left[ (1/\sigma_x)^2 + (1/\sigma_y)^2 \right]; \quad F_0 = 1/2 \left[ (1/\sigma_y)^2 - (1/\sigma_x)^2 \right]; \quad G_0 = 1/2 \left[ (1/\sigma_x)^2 - (1/\sigma_y)^2 \right].$$

Величина напряжения  $\sigma_{э\kappa\theta}$  в теории Хилла эквивалентна интенсивности напряжений  $\sigma_i$  в теории Мизеса. Предельной будем считать нагрузку, при которой  $\sigma_{э\kappa\theta} = \sigma_i$ . Если для однородной балки пластические деформации наступают при  $\sigma_i = 154$  МПа, то расчет  $\sigma_{э\kappa\theta}$  с помощью модели (4) - (7) дает величину  $\sigma_{э\kappa\theta} = 135,52$  МПа, т.е. боковое воздействие на балку силой  $P_y$  и последующая рихтовка снижают несущую способность балки в вертикальной плоскости на 12%.

**Выводы**

1. Деформационная анизотропия, возникающая в материале балки при боковом воздействии на уровне пластических деформаций, не исчезает при рихтовке.

2. При нагружении отремонтированной балки рабочими нагрузками в плоскости перпендикулярной боковому удару анизотропия снижает несущую способность балки на 12%.

**Направления дальнейших исследований.** Представленные в статье результаты исследований влияния деформационной анизотропии на эксплуатационные показатели автомобиля в дальнейшем необходимо довести до программного обеспечения, позволяющего при проведении операций кузовного ремонта получать рекомендации и разрабатывать методы снижения влияния деформационной анизотропии на качество кузовного ремонта.

**Библиографический список использованной литературы**

1. Дамшен К. Ремонт автомобильных кузовов / К. Дамшен. — М.: Изд-во «За рулем», 2007. — 240 с.
2. Фентон Дж. Несущий каркас кузова автомобиля и его расчет / Дж. Фентон. — М.: Машиностроение, 1984. — 199 с.
3. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницкий. — М: Изд. техн. лит., 1978. — 302 с.
4. Гохфельд Д.А. Пластичность и ползучесть элементов конструкций при повторных нагружениях / Д.А. Гохфельд, О.С. Садаков. — М. : Машиностроение, 1984. — 256 с.
5. Соколовский В.В. Теория пластичности / В.В. Соколовский. — М.: ВШ, 1998. — 608 с.
6. Шпунькин Н.Ф. Экспериментальное исследование влияния анизотропии и скорости деформирования на силовые параметры при растяжении листа / Н.Ф. Шпунькин, С.А. Типалин, М.Ю. Никитин. — М.: Машиностроение, 2011. — 135 с.
7. Торлин В.Н. Проектирование операций кузовного ремонта с учетом истории деформации конструкции при ДТП / В.Н. Торлин, А.П. Фалалеев, А.А. Ветрогон // Автошляховик України: Вісник центру наукових дослідж. трансп. АНУ. — 2011. — Вип. 14. — С. 77–79.
8. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. — М. : Машиностроение, 1975. — 400 с.

*Поступила в редакцию 25.06.2012 г.*

**Фалалеев А.П., Ветрогон О.А., Торлин В.М. Вплив деформаційної анізотропії кузовних балок на їх несучу здатність після ремонту**

Розглядається методика оцінки якості ремонту балок основи кузова автомобіля, заснована на рішенні задачі теорії пластичності для балки з деформаційної анізотропією, придбаною конструкцією при ДТП і зміненою при ремонті. Показано вплив деформаційної анізотропії на несучу здатність конструкції після ремонту.

**Ключові слова:** якість ремонту кузова, деформаційна анізотропія, несуча здатність.

**Falaleev A.P., Vetrogon O.A., Torlin V.N. The influence of the deformation anisotropy car body beams on their carrying capacity after repair**

The technique of assessing the quality of repair of the base beams of the car body, based on solving the problems of the theory of plasticity for beams with deformation anisotropy acquired by accident and changed during repair. The influence of strain anisotropy on the bearing capacity of the structure after repair.

**Keywords:** quality body repair, deformation anisotropy, load-bearing capacity.