

УДК 624.014.2

Мацкевич Ю.Н.

Научный руководитель: доц. Зинкевич И.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УЗЛОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОФОРМОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

За последние годы в странах СНГ стали уделять больше внимания использованию легких стальных тонкостенных конструкций из гнутых профилей в промышленном и гражданском строительстве. Это означает, что создана новая отечественная отрасль строительной индустрии, включающая разработку, изготовление и монтаж конструкций с использованием тонкостенных гнутых профилей из оцинкованной стали.

В отличие от традиционных металлических конструкций холодногнутые профили и конструкции из них имеют свои особенности:

- толщина применяемой стали 0,7-2,5 мм; используется только оцинкованная сталь высокого качества;

- повышенная жесткость тонкостенного профиля, с одной стороны, позволяет снизить расход металла, а с другой – усугубляет проявление местной потери устойчивости, изгибно-крутильной формы потери устойчивости, а также деформации сечения.

- предел текучести рулонной оцинкованной стали толщиной не более 3 мм увеличивается на 15-20 % с уменьшением ее толщины по сравнению с минимальным заявленным значением. Кроме того, предел текучести стали в местахгиба гнутого профиля в процессе его прокатки возрастает по сравнению с его значением на плоских участках (явление наклепа).

- сварные соединения заменяются соединениями на самонарезающих винтах, болтах и заклепках;

Для изучения работы узлового соединения было проведено испытание Т-образного узла. Схема испытания представлена на рисунке 1, нагружение производилось грузами весом 100 Н. Сечения узла выполнены из С-образного профиля производства Чешской республики (рисунком 2). Материал профиля – S250GD + Z с основным пределом текучести согласно таблице 3.1.b ТКП EN 1993-3-2009 равным $f_{yk} = 250 \text{ МПа}$ и временным сопротивлением $f_{tk} = 330 \text{ МПа}$.

Сбор профилей в узловое соединение выполнено при помощи самонарезающих винтов с цинковым покрытием и полукруглой головкой типа DIN 750K4.8x25.

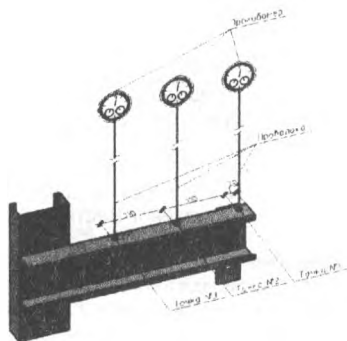


Рисунок 1 – Схема испытания

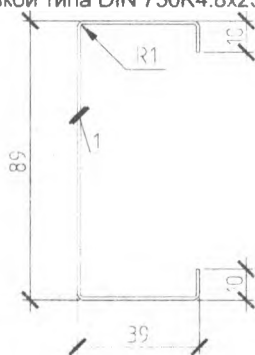


Рисунок 2 – Сечение элементов узла

Разрушение узлов происходило при нагрузке 1.5 кН, за счет смятия металла в районе самонарезающих винтов (рисунок 3).

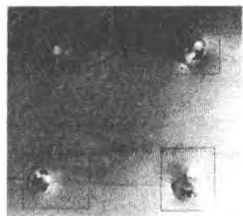


Рисунок 3 – Смятие металла в зоне саморезов

Приняв разрушающую силу за предельную нагрузку, еще воспринимаемую узлом, определим равнодействующие сил приходящиеся на один самонарезающий винт (рисунок 4)

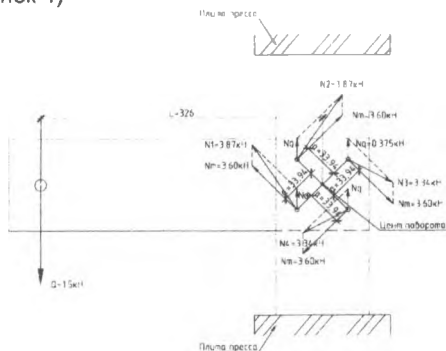


Рисунок 4 – Схема к определению силы приходящейся на один самонарезающий винт

Момент от предельно допустимой нагрузке воспринимаемый узлом:

$$M = Q \cdot L = 1.5 \cdot 0.326 = 0.489 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Сила приходящаяся на самонарезающий винт от поперечной силы (условно распределяем между 4-мя самонарезающими винтами равномерно):

$$N_q = \frac{Q}{4} = \frac{1.5}{4} = 0.375 \text{ кН};$$

Сила приходящаяся на самонарезающий винт от момента:

$$N_m = \frac{M}{4 \cdot a} = \frac{0.489}{4 \cdot 0.034} = 3.60 \text{ кН};$$

Отложив в масштабе силы N_q, N_m определим равнодействующие (геометрическим сложением векторов), приходящиеся на каждый самонарезающий винт: $N_1 = 3.87 \text{ кН}, N_2 = 3.87 \text{ кН}, N_3 = 3.34 \text{ кН}, N_4 = 3.34 \text{ кН}.$

Разрушение узла произошло за счет смятия металла. Рассчитаем несущую способность смятия в соединении работающем на сдвиг на самонарезающий винт, в соответствии с ТКП EN 1993-1-3-2009:

$$f_{b,Rd} = \frac{\alpha f_c d t}{\gamma_{M2}}$$

где $f_{b,Rd}$ - несущая способность смятия;

α - коэффициент, принимаемый при $t = t_1$, $\alpha = 3.2 \sqrt{\frac{t}{d}}$, но $\alpha < 2.1$;

$f_{tR} = 330 \text{ МПа}$ - временное сопротивление на растяжение опорного элемента, в котором установлен самонарезающий винт;

$d = 4.8 \text{ мм}$ - номинальный диаметр самонарезающий винт;

$t = 1 \text{ мм}$ - толщина более тонкого из соединяемых элементов;

$\gamma_{M2} = 1.25$ - частный коэффициент безопасности;

$$\alpha = 3.2 \sqrt{\frac{t}{d}} = 3.2 \sqrt{\frac{1}{4.8}} = 1.46 < 2.1;$$

$$f_{b,Rd} = \frac{\alpha f_c d t}{\gamma_{M2}} = \frac{1.46 \cdot 330 \cdot 4.8 \cdot 1}{1.25} \cdot 10^{-3} = 2.31 \text{ кН}.$$

Исходя из несущей способности соединения на смятие, определим предельную нагрузку воспринимаемую узлом. Составляющие N , N_q определим графическим способом (рисунок 5), найденные значения проверим на соблюдение уравнений статического равновесия.

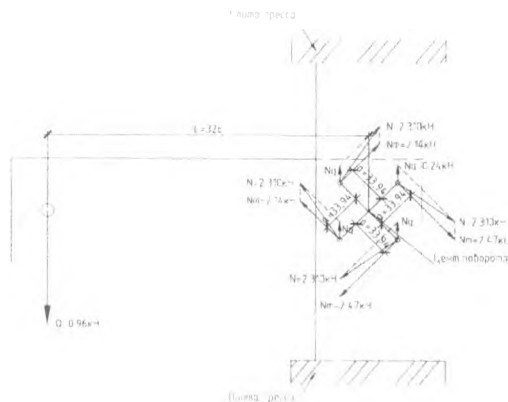


Рисунок 5 – Схема к определению предельной нагрузки на узел

Проверим равновесие узла:

$$\sum M = 0. a \sum N_n - Q L = 0.03394 (2.14 + 2.14 + 2.47 + 2.47) - 0.96 \cdot 0.326 = 0.313 - 0.313 = 0 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum Q = 0.4 \cdot N_q - Q = 4 \cdot 0.24 - 0.96 = 0.96 - 0.96 = 0 \text{ кН};$$

Сравним предельно допустимую нагрузку на узел при экспериментальном определении несущей способности и теоретической полученной исходя из несущей способности соединения на смятие по расчетным положениям предложенным в ТКП EN 1993-1-3-2009 имеем:

$$Q_{эксп} = 1.5кН, Q_{теор} = 0.96кН;$$
$$\varepsilon = \frac{|0.96 - 1.5|}{0.96} \cdot 100\% = 60\%.$$

Теоретический расчет дает существенный запас в сторону несущей способности.

Для анализа работы узлового соединения была разработана и рассчитана конечно элементная модель. Расчет производился в программном комплексе FEMAP 10.3 с решателем Nastran NX.

В районе самонарезающих винтов видны зоны локальных напряжений (рисунок 6), что соответствует реальному поведению узла, разрушение которого началось вследствие смятия металла в зоне саморезов (рисунок 3).

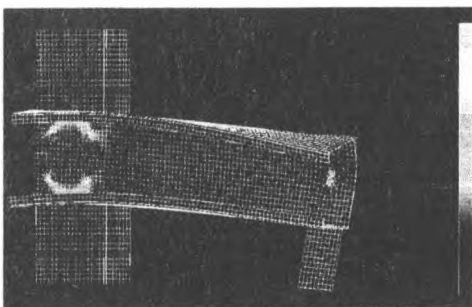


Рисунок 6 – НДС Т-образного узла

Выводы:

- изучена работа тонкостенных профилей в узловом Т-образном соединении. Выявлены слабые места данного соединения, согласующиеся с численными исследованиями;

- прочность узла на 60% выше теоретической, определенной в соответствии с расчетными положениями ТКП EN 1993-1-3-2009, что соответствует принципу обеспечения требуемого уровня надежности, но не согласуется с принципом экономии.

- при соединении профилей с помощью самонарезающих винтов образуется отверстие с рваными краями с нарушением защитного слоя цинкового покрытия, что делает данный участок подверженным коррозии. Данный вопрос должен быть отдельно изучен.

Список цитированных источников

1 ТКП EN 1993-1-3-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов – Минск: МАИС РБ, 2014. – 119 с.

2 Гарднер Л., Нетеркот Д.А. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-8. – Москва: МГСУ, 2012. – 224 с.