

Моделирование процесса гофрообразования полки профиля швеллерного типа

В работе приведены результаты моделирования процесса гофрообразования полки профиля швеллерного типа. Выявлены причины гофрообразования и представлена модель волны полки профиля. Математическое моделирование выполнено с использованием программы LS-DYNA версии 971. Исследование выполнено в научных целях.

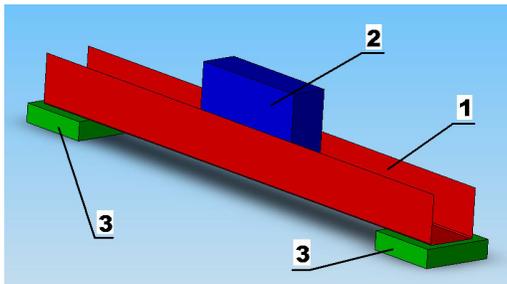


Рис. 1. Исходная модель для моделирования процесса гофрообразования: 1 – профиль швеллерного типа, 2 – прижим, 3 – опоры

При создании конечно-элементной модели использовались четырехузловые оболочечные элементы мембранного типа (5 формулировка), модель материала: для профиля – билинейная изотропная модель (*MAT_PLASTIC_KINEMATIC), для остальных – абсолютно жесткие тела (Rigid), тип контактного элемента - Automatic surface-to-surface contact (ASTS). Конечно-элементная модель представлена на рис. 2. Модель профиля включала 9000 оболочечных элементов.

После решения в программе Ls-dyna результаты обрабатывались в постпроцессоре LS-PrePost. На рис. 3. приведены этапы образования гофры по краю полки.

В процессе моделирования характерно последовательное образование гофры, с постепенным развитием ее от середины к краям: образование первой гофры посередине ($t = 0.6$ мс), образование двух гофр по направлению к краям ($t = 1.1$ мс), увеличение образованных 3-х гофр ($t = 1.5-2$ мс).

Для характерных элементов, являющиеся вершинами и впадинами гофры (e1875, e2295, e2670) построены графики (рис. 4) изменения продольной деформации в процессе воздействия прижима. Для элементов e1875 и e2295 характерно превышение предела упругих деформаций ($2e-3$), что характеризует переход в пластическое состояние, т.е. возникновение неустранимой гофры. Ступенчатое изменение деформаций связано с периодическими движениями полки профиля в процессе образования гофры. Этапы изменения напряжения вдоль профиля (визуализация образования гофры) приведены на рис. 5.

Цель моделирования процесса – определение параметров гофрообразования полки профиля под действие остаточных напряжений, накопленных в процессе подгибки элементов профиля. Накопленные остаточные напряжения вызывают образование неустранимой гофры полки профиля, что приводит к общему дефекту данной детали. Процесс образования гофры моделировался приложением давления к середине дна профиля 1, за счет применения прижима 2 и опор 3 (рис. 1).

Объектом исследования был выбран профиль швеллерного типа 30x30x0.5. Профиль изготавливался из материала сталь 08пс с цинкованным покрытием. Длина профиля соответствовала 500 мм. Скорость перемещения пуансона задавалась 2500 мм/сек. Время вычисления соответствовало 2 мс. Максимальный прогиб соответствовал 5 мм. Задача решалась в лагранжевой постановке.

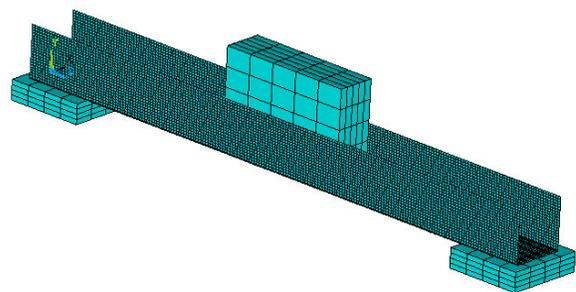


Рис. 2. КЭ сетка модели

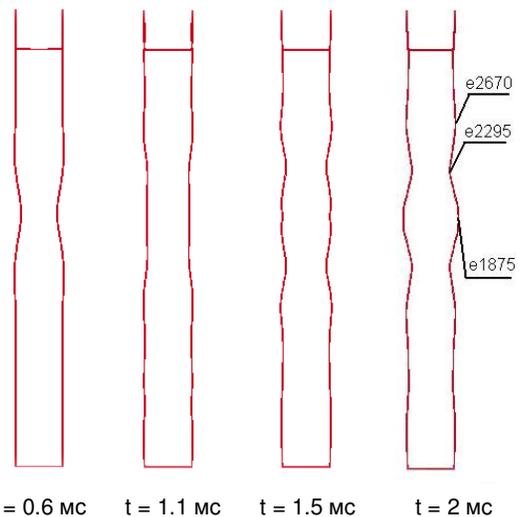


Рис. 3. Этапы образования гофры по краю полки

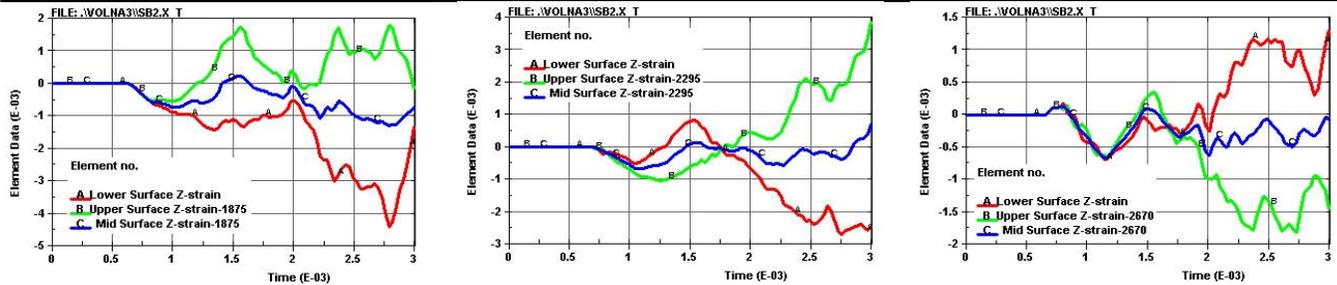


Рис. 4. Графики зависимости изменения продольной деформации для внутренней (lower), средней (mid) и наружной (upper) поверхности для характерных точек по краю заготовки (e1875, e2295, e2670)

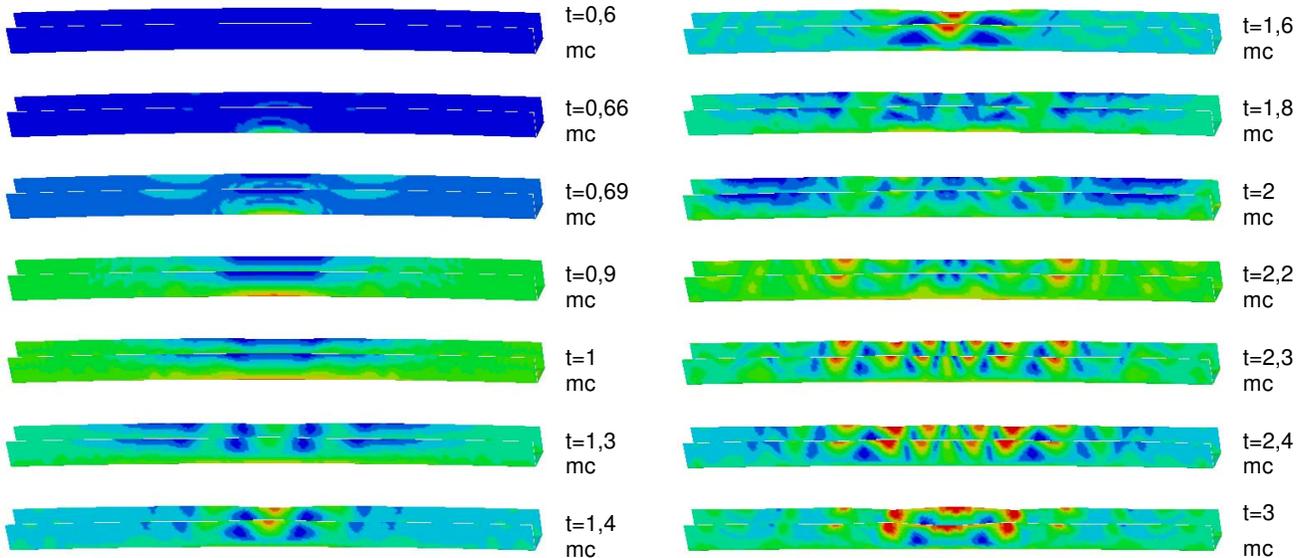


Рис. 5. Этапы изменения напряжений по полке профиля в процессе образования гофры

Для подтверждения результатов моделирования были проведены экспериментальные исследования профиля 30x30x0,5 на предмет образования гофры.

Заготовку устанавливали на две опоры на расстоянии $L = 500$ мм друг от друга; в середине профиля дно поджимали струбциной, с помощью которой осуществлялся прогиб профиля с шагом 0,5 мм. В ходе испытания фиксировали амплитуду (A) и период (T) по середине профиля.

Условную величину деформации определяли по следующей формуле:

$$\varepsilon^* = \left(\frac{\pi \cdot A}{2T} \right)^2,$$

где A – амплитуда, T – период.

На рис. 6. приведен экспериментальный график. Уменьшение величины деформации в точках а, б, в связано с появлением (прохлопыванием) волны с числом периодов соответственно 1, 2, 3.

Результаты моделирования сходны с практическими результатами по форме проявления гофры (рис. 7). В обоих случаях характерно постепенное “расползание” гофры от центра к краям. Характерно ступенчатое распределение деформаций по полкам при увеличении величины прогиба.

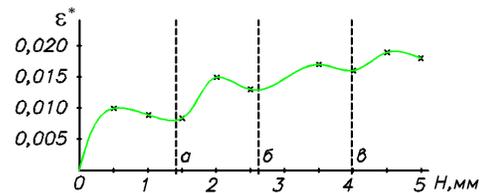


Рис. 6. Экспериментальная зависимость величины деформации от величины прогиба донной части профиля.

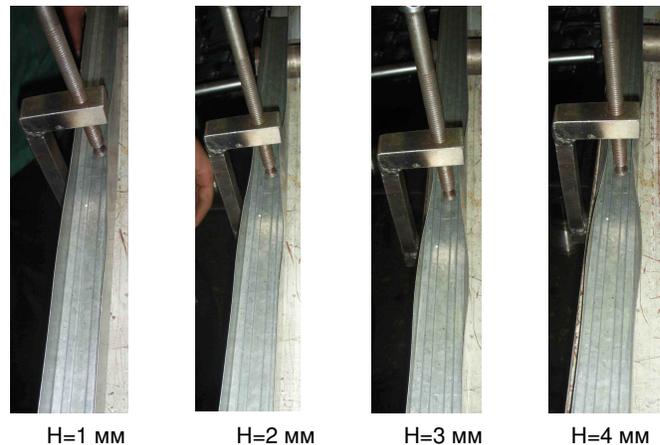


Рис.7. Этапы образования гофры практически от прогиба H