

## КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАНИЯ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СРЕЗ

Гольцев А.А., аспирант, Елисеев В.В. к.т.н. доцент, Крупин Е.П., инженер, Гольцев А.М., к.т.н., доцент

Диаграммы разрушения листовых материалов используют для моделирования бездефектных операций листовой штамповки и прогнозирования аварийного разрушения. Существуют два механизма разрушения: отрывом и срезом. Для определения параметров разрушения проводится ряд испытаний, одним из которых является испытание на кручение в плоскости листа в условиях, близких чистому сдвигу. Образец для испытания приведен на рис.1.

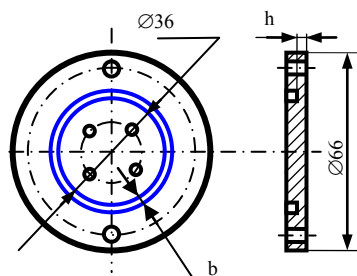


Рис.1

Этот вид испытания используется для построения кривых течения изотропных материалов. Чтобы учесть анизотропию механических свойств, характерную для многих анизотропных материалов, предлагается проводить испытания на усовершенствованных образцах Мьяши (рис.2). Моделирования геометрии образца выполнили с помощью конечно-элементного пакета [Abaqus/explicit](#).

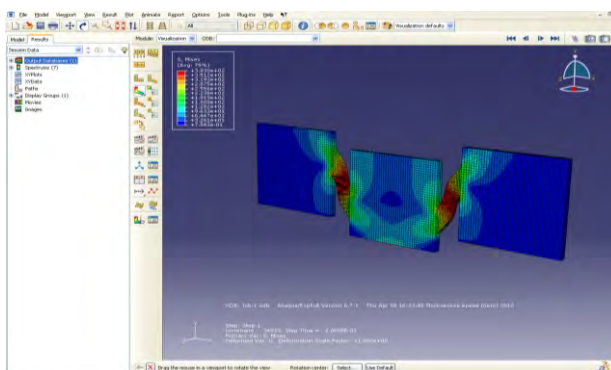


Рис.2

Размеры образца, ширина и длина перемычки, угол ее наклона к направлению действия нагрузки должны быть такими, чтобы обеспечивать разрушение образца в центре перемычки без предварительной потери устойчивости. Поскольку разрушение перемычек срезом зависит от материала, их размеры следует выбирать после предварительного моделирования разрушения с помощью конечно-элементных пакетов

В результате моделирования уточнили геометрию образца рис.3 и выполнили серию испытаний для построения кривых течения и определения предельных деформаций разрушения срезом.

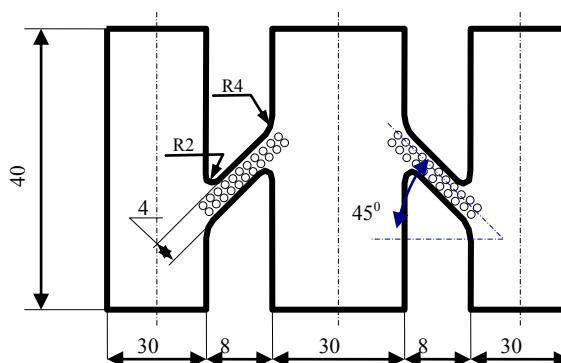


Рис.3

Образец вырезали из листовой стали 08кп толщиной 1.5 мм. На перемычки образца, расположенные под углом  $45^\circ$  к оси образца, фотоконтактным способом наносится сетка с круглыми ячейками диаметром  $d_0=1.7$  мм.

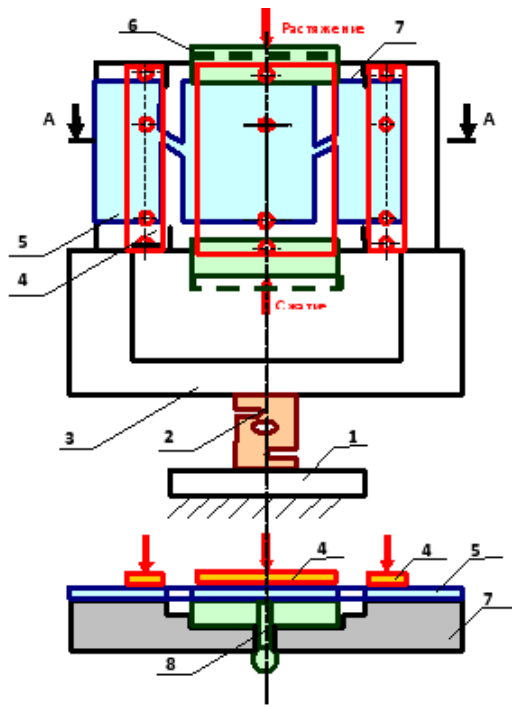


Рис.4

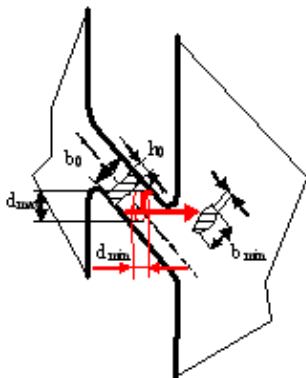


Рис.5

Установка для испытания приведена на рис.4. Крайние крылья образца 5 закрепляется на опорной плите 7 прижимными планками 4, а центральная часть – на подвижном пуансоне 6. Движение пуансона параллельно оси образца фиксируется контуром желоба плиты 7 и направляющими винтами 8. Опорная плита устанавливается в свою очередь на опоре 3, которая располагается на датчике усилия 2(S5000) на траверсе испытательной машины 1. Осевое перемещение пуансона контролируется датчиком перемещения Solartron измерительной системы Orbit с точностью  $\pm 0,0006$ мм. Схема среза с растяжением перемычек образца реализуется при установке образца в позиции, изображенной на рис.5. При повороте образца на  $180^{\circ}$  на опорной плите, перемычки нагружаются по схеме срез со сжатием.

Предельная деформация среза в месте разрушения определяется по результатам измерения ширины  $b_0$  и толщины  $h_0$  поперечного сечения перемычки до испытания и соответственно в трещине  $b_{min}, h_{min}$  (рис.4) после его разрушения и вычисляется по формуле  $e^{**} = \ln \frac{b_{min} h_{min}}{b_0 h_0}$ ; (1)

Параметр вида деформированного состояния определяется измерением наибольшего  $d_{max}$  и наименьшего  $d_{min}$  диаметров разрушенной ячейки по формуле  $\alpha = \frac{e_2}{e_1}; e_1 = \ln \frac{d_{max}}{d_0}; e_2 = \ln \frac{d_{min}}{d_0}$ . (2)

На рис.6 приведены сравнительные кривые течения листовой стали 08кп в координатах: эквивалентная деформация - эквивалентное напряжение, - полученные по результатам испытаний на кручение (красная кривая) и срез образцов Мьяши (синяя кривая).

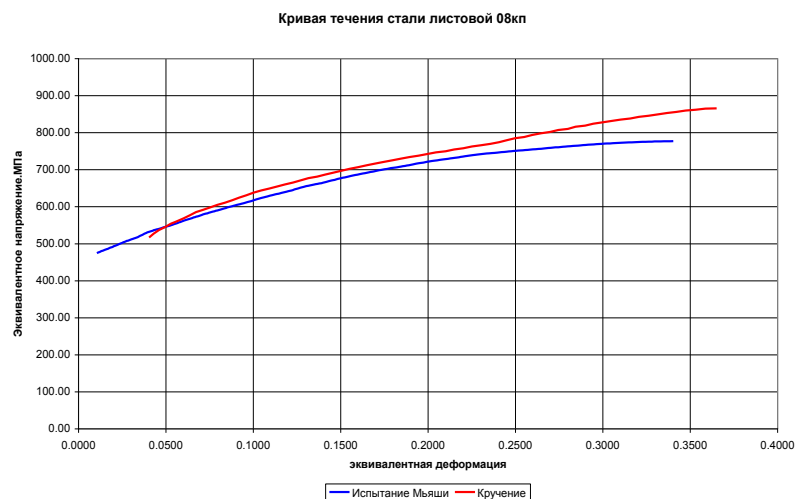


Рис.6.

Поскольку сплав квази-изотропен, кривые течения лежат достаточно близко в начале деформирования. Дальнейшее их расхождение вызвано еще одним недостатком испытания на кручение – сравнительно ранняя потеря устойчивости из-за протяженной канавки по причине недостаточной жесткости в ней.

Таким образом, использование конечно-элементных программных пакетов в экспериментальной механике позволяет проанализировать и оптимизировать геометрию образцов и условий их деформирования для реализации заданного вида деформированного состояния, рассчитать напряженно состояние образца в области разрушения и скорректировать искажение размеров образца, необходимых для расчета предельных деформаций, после его разгрузки.