

УДК 621.7.01

В. Г. Писаренко, д. т. н.; В. В. Савуляк, к. т. н., доц.; В. Е. Быличкина
ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ НА СДВИГ

В статье проанализировано влияние геометрических параметров листовых образцов для испытаний на сдвиг на показатели напряженно-деформированного состояния в зоне измерения при испытаниях. Для обеспечения условий деформирования, близких к смещению, предложена новая конструкция листовых образцов. Установлено влияние геометрических характеристик предложенных листовых образцов на величину показателей напряженно-деформированного состояния и их разницу в зоне измерения.

Ключевые слова: напряжение, деформации, листовый материал, испытания на сдвиг, плоское напряженное состояние.

Постановка задачи

Кризис ресурсов заставляет производителей и потребителей более экономно относиться к их использованию, что приводит к широкому применению ресурсосберегающих методов, способов и технологий обработки. Значительная часть таких методов приходится на обработку металлов давлением. Среди главных задач, решаемых при проектировании технологических процессов изготовления, одной из основных является обеспечение стабильного выпуска качественной продукции. В значительной мере такую задачу решают за счет правильного подбора или расчета режимов обработки, которые ведут с учетом пластичности материала. Мерилом для оценки возможности получения того или иного изделия методами пластической деформации является критерий ψ , предложенный в работах Губкина, Смирнова-Аляева, Деля, Огородникова и других авторов [1]. Суть этого критерия заключается в том, что катастрофическое разрушение обязательно наступает в момент, когда $\psi = 1$, то есть в данный момент пластичность материала исчерпана. Расчет использованного ресурса пластичности можно производить по формуле [2]

$$\Psi = \int_0^{e_i} n \frac{e_i^{n-1}}{e_p(\eta, \mu_\sigma)^n} de_i \leq 1, \quad (1)$$

где e_p – предельная деформация до разрушения; e_i – интенсивность деформаций;
 $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ – поверхность предельных деформаций; $n = 1 + 0,2 \arctg\left(\frac{d\eta}{de_i}\right)$ – показатель, учитывающий характер изменения пластичности в зависимости от жесткости напряженного состояния; $\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$ – жесткость напряженного состояния; $\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$ – вид напряженного состояния.

Из выражения (1) видно, что существенное влияние на точность определения использованного ресурса пластичности имеет поверхность предельных деформаций $e_p(\eta, \mu_\sigma)$, построенную в безразмерной системе координат: жесткость напряженного состояния η ; показатель вида напряженного состояния (показатель Надаи – Лоде) μ_σ . Согласно методике [2] поверхность предельных деформаций строят на основе данных, полученных в результате опытов на растяжение, сжатие и кручение (сдвиг)

$$e_p(\eta_2, \mu_\sigma) = \frac{e_p(0,0)\exp(-b\eta_2)}{1 + \lambda_1\mu_\sigma + \lambda_2\mu_\sigma^2}, \quad (2)$$

где $\lambda_1 = \ln\left(\frac{e_p(-1,0)}{e_p(0,0)}\right)$, $\lambda_2 = \ln\left(\frac{e_p(0,1)}{e_p(0,0)}\right)$, $b = \lambda_1 - \lambda_2$ – коэффициенты аппроксимации; $e_p(0,0)$

– предельная деформация во время испытаний на кручение (сдвиг); $e_p(-1,0)$ – предельная деформация при испытаниях на сжатие; $e_p(0,1)$ – предельная деформация во время испытаний на растяжение. Фактическую величину предельной деформации, определенную по результатам испытаний на кручение, уточняют эмпирическим выражением [2], поскольку на поверхности материала (в зоне фиксации значений) показатели η_2 и μ_σ колеблются в пределах от -0,1 до 0,1.

Из (2) следует, что влияние точности определения предельных сдвиговых деформаций на точность построения диаграммы пластичности и, соответственно, на расчеты использованного ресурса пластичности является весомой.

В этой работе проведён анализ влияния формы и геометрических параметров образцов для испытаний на сдвиг на показатели напряженно-деформированного состояния в зоне измерения.

Напряженно-деформированное состояние образца во время испытаний на сдвиг

Для определения предельной деформации кручения используют цилиндрические образцы с формой, соответствующей требованиям стандарта, а для определения предельных деформаций на смещение для листовых материалов геометрические параметры таких образцов не установлены. Таким образом, основной целью данной работы является уточнение геометрии образца для проведения испытаний на сдвиг листов и выявление ее влияния на показатели напряженно-деформированного состояния.

В работах [2, 3] для определения предельной деформации листового материала на сдвиг предложены несколько видов образцов (рис. 1).

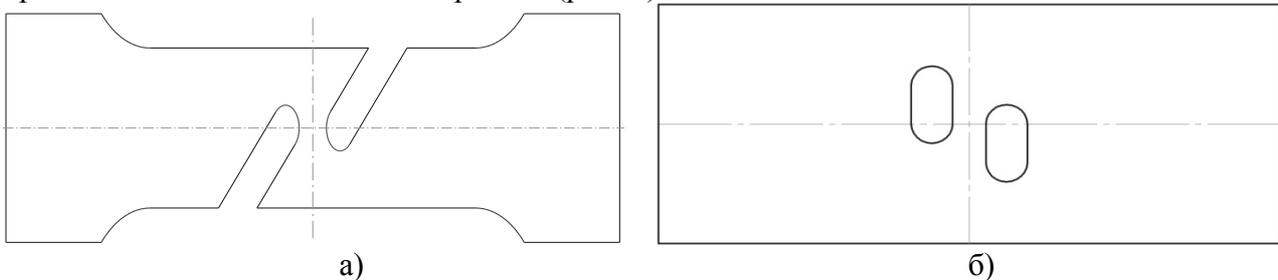


Рис. 1. Конструкции образцов для испытаний листовых материалов на сдвиг:

- а) – образец, предложенный в работе [2];
- б) – образец, предложенный авторами этой статьи

Рассмотрим механические модели процесса деформирования образцов (рис. 2). Для образца, согласно изображенной на рис. 2а схеме, рабочую область 1 во время испытаний на разрывных машинах подвергают воздействию не только оползневых нагрузок, но и действия крутящего момента. В результате действия сил растяжения рабочая часть образца находится в состоянии внецентренного растяжения, то есть происходит не чистый сдвиг участка образца (плоское напряженное состояние), а более сложный процесс: смещение на участке 1 и одновременное ее удлинение, а на участках 2 – растяжение и изгиб. За счет появления крутящего момента правая и левая части образца пытаются развернуться таким образом, чтобы перемычка 1 совпадала с направлением движения захватного устройства, что приводит к существенному различию напряженно-деформированного состояния в зоне 1 от

смещения. Это подтверждено моделированием и натурными испытаниями образцов (рис. 3а, 4а).

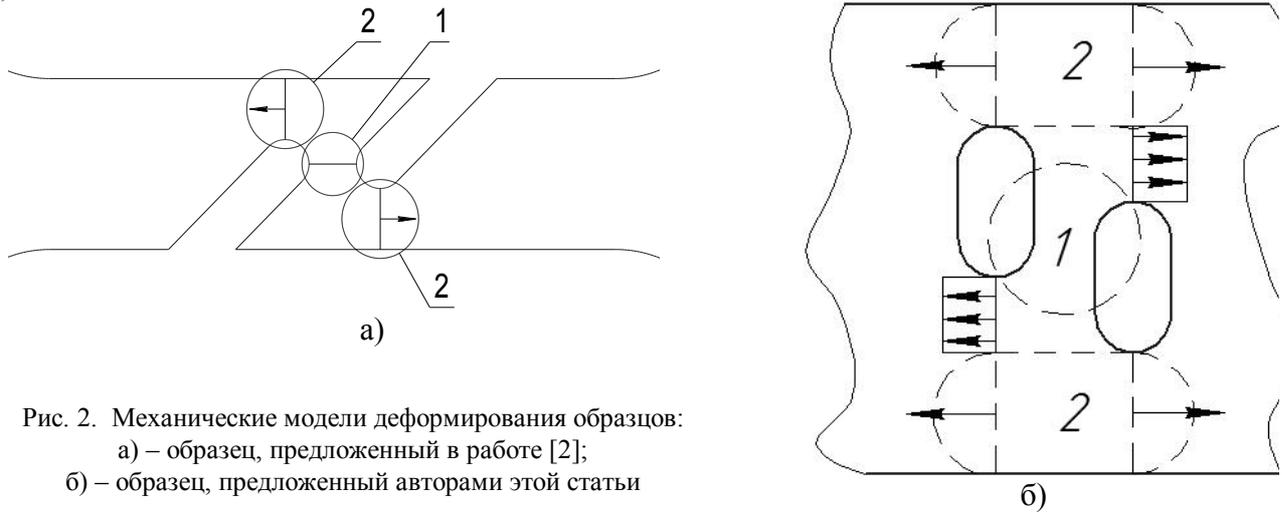


Рис. 2. Механические модели деформирования образцов:
 а) – образец, предложенный в работе [2];
 б) – образец, предложенный авторами этой статьи

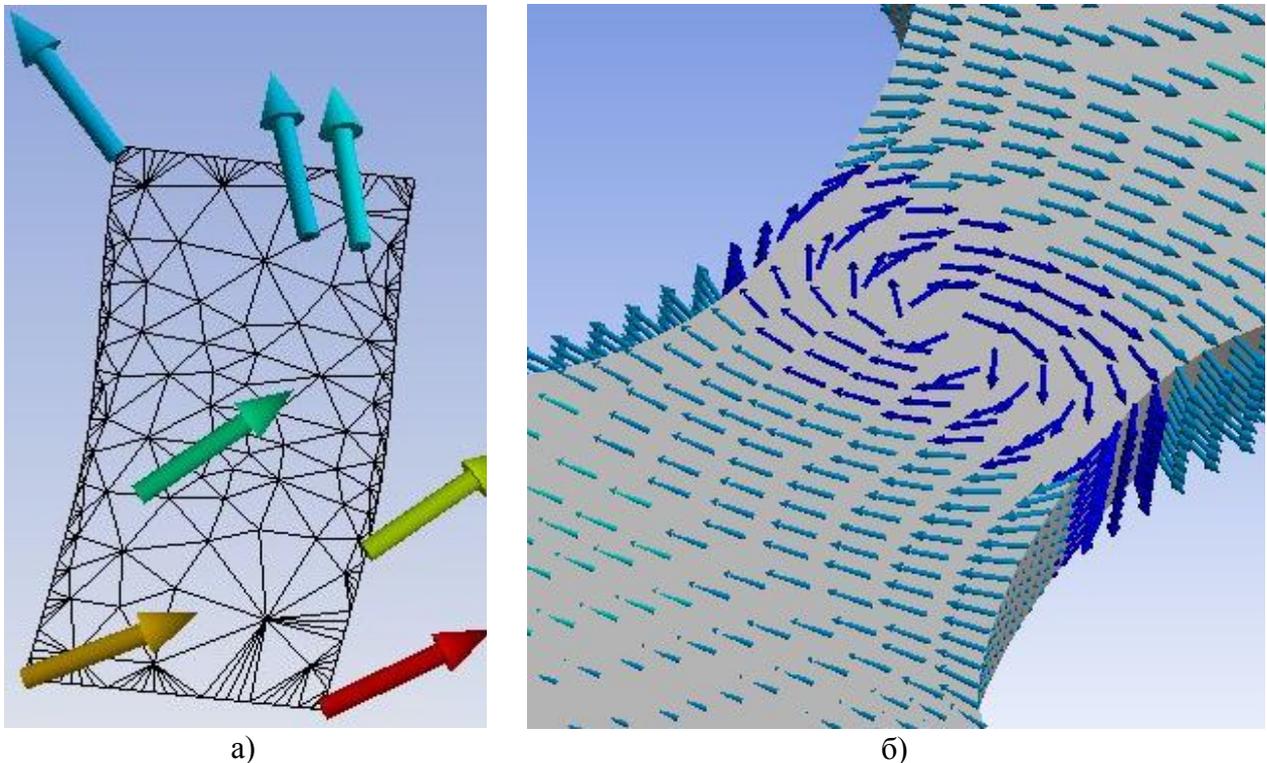


Рис. 3. Направления перемещений точек перемычки в процессе деформирования:
 а) – образец, предложенный в работе [2];
 б) – образец, предложенный авторами этой статьи

В отличие от образца *a*, в процессе деформирования образца *б* напряженно-деформированное состояние на участке 1 (рис. 2б) более близкое к смещению. Это объясняется тем, что попытка правой и левой части образца смещения относительно друг друга компенсируется за счет деформаций зон 2 (рис. 3б, 4б). Такого же эффекта можно достичь за счет использования специальных направляющих, которые будут ограничивать взаимное движение половинок образца.

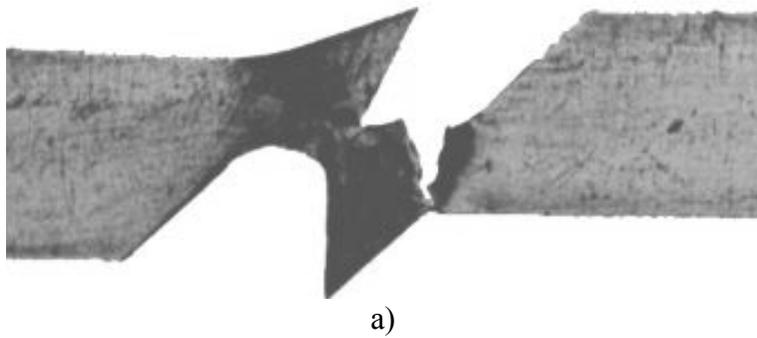
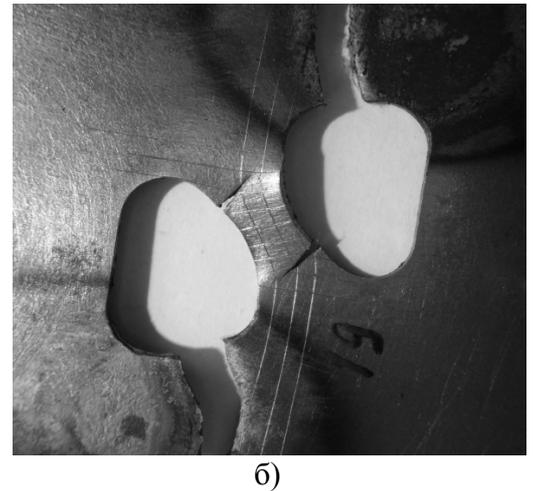


Рис. 4. Вид образцов после натуральных испытаний:
а) – образец, предложенный в работе [2];
б) – образец, предложенный авторами этой статьи



Еще одним недостатком обоих образцов является потеря устойчивости перемычки (в плоскости образца) при деформировании и, как следствие, потеря образцом плоскостности. Однако этого можно избежать за счет дополнительных накладок на зону перемычки или уменьшения ширины перемычки. Для уменьшения ширины перемычки до минимальных значений существенным ограничением является возможность идентификации величины смещения за счет различного рода меток. Поэтому более эффективным, на наш взгляд, является комбинированное решение: уменьшение толщины перемычки и одновременное использование дополнительных накладок для фиксирования перемещений в направлении перпендикулярном плоскости листа.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, более перспективными являются образцы, представленные на рис. 1б.

С целью выявления влияния геометрических параметров образца на показатели напряженно-деформированного состояния была проведена серия имитационных расчетов, в которых исследовали влияние геометрических характеристик образца, предложенного авторам на показатели напряженно-деформированного состояния. Для повышения эффективности расчетов была построена параметризованная модель образца (рис. 5).

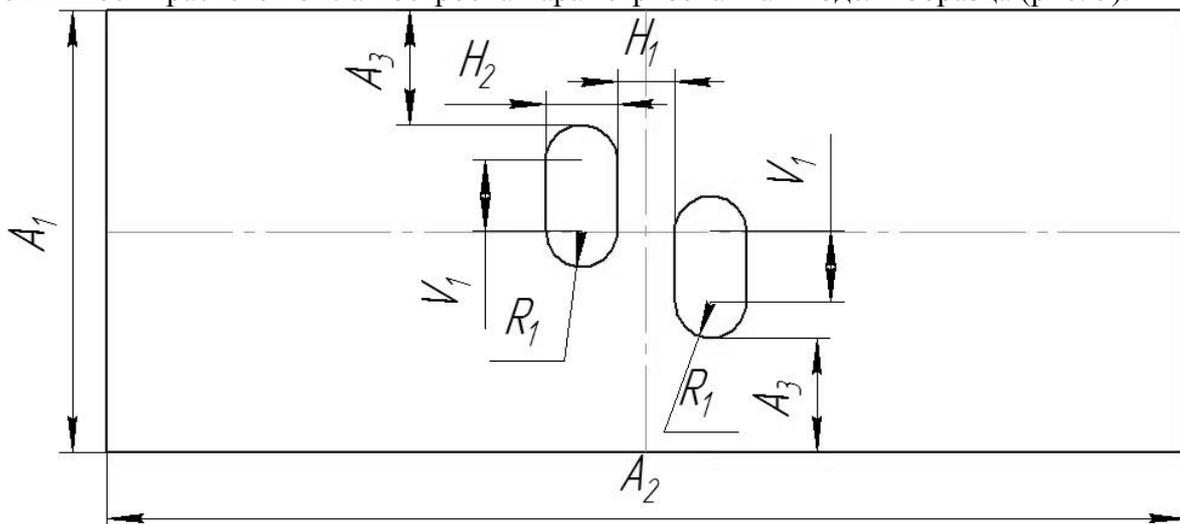


Рис. 5. Параметризованная модель образца, предложенного авторами

В процессе изучения влияния геометрических параметров на показатели напряженно-деформированного состояния выявлено, что параметры A_1 , A_2 , A_3 и H_2 не осуществляют существенного влияния. Таким образом, основное влияние оказывают: R_1 – радиус закругления паза; H_1 – ширина перемычки (рабочей зоны); V_1 – длина паза. Для упрощения идентификации зоны измерения принято, что измерение происходит в зоне 1

предложенного образца (рис. 2б), удаленной на 2 мм от каждого из пазов и ограниченной центральными закруглениями пазов. В исследованиях ограничились образцами толщиной до 6 мм, поскольку, как показали расчеты, для образцов с большей толщиной напряженно-деформированное состояние все больше приближается к объемному.

В результате расчетов были получены зависимости показателей η (показатель напряженного состояния) и μ_σ (показатель Надаи – Лоде) от геометрических параметров – R1, H1 и V1. В графическом виде они представлены на рис. 6 и 7.

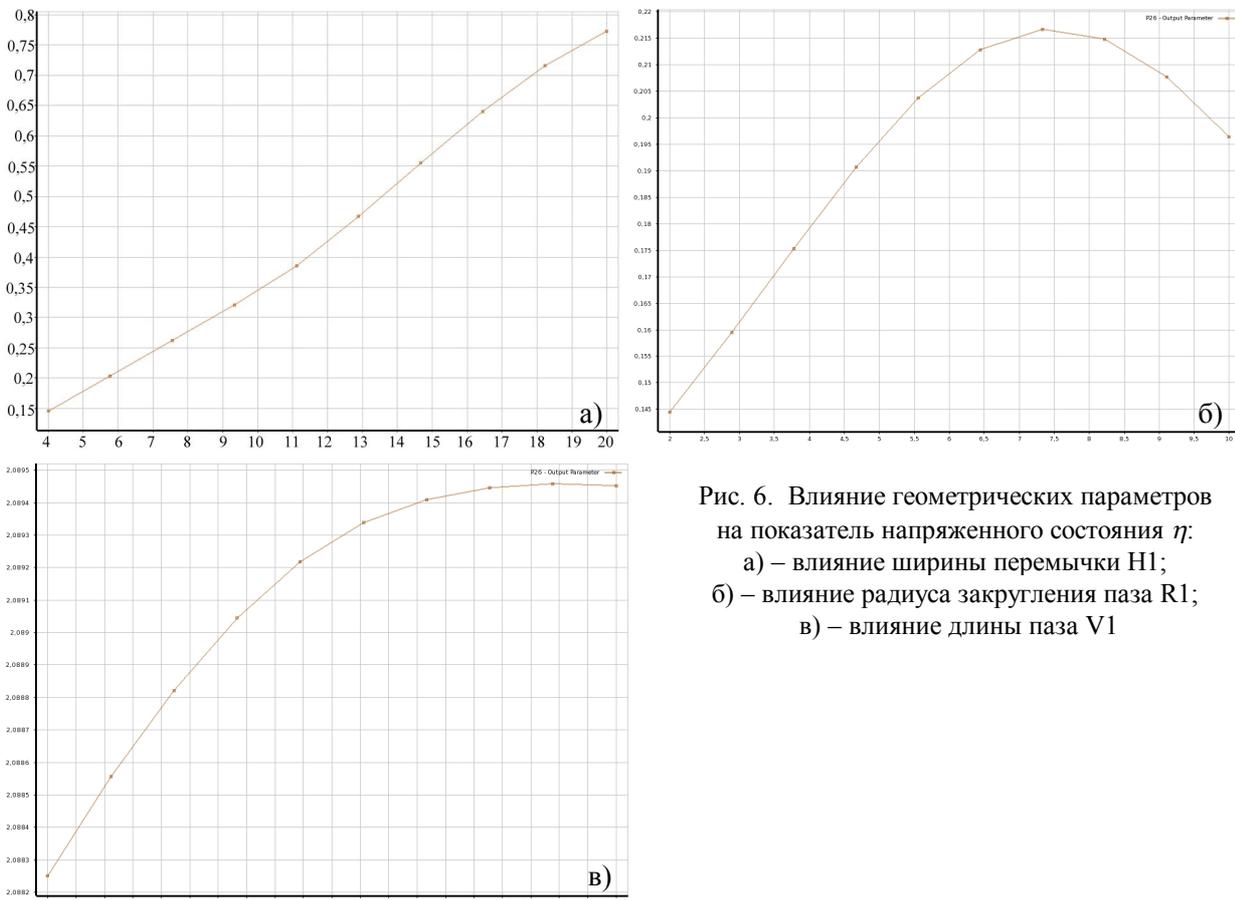


Рис. 6. Влияние геометрических параметров на показатель напряженного состояния η :
 а) – влияние ширины перемычки H1;
 б) – влияние радиуса закругления паза R1;
 в) – влияние длины паза V1

Как видно из рис. 6а и 7а, увеличение ширины перемычки приводит к росту показателей напряженно-деформированного состояния и дальнейшему отклонению от плоского напряженного состояния.

Анализ рис. 6б и 7б указывает, что лучшими диапазонами значений являются радиусы от 1 до 2,5 мм. Следует также отметить, что рост длины паза (рис. 6в и 7в) до 20 мм повышает показатели напряженно-деформированного состояния, а дальнейшее увеличение длины паза на показатели η и μ_σ влияния практически не имеет.

В результате оптимизации расчетных данных по целевой функции η для образцов с толщиной 1, 2, ... 6 мм получены геометрические параметры и показатели напряженно-деформированного состояния (таблица 1).

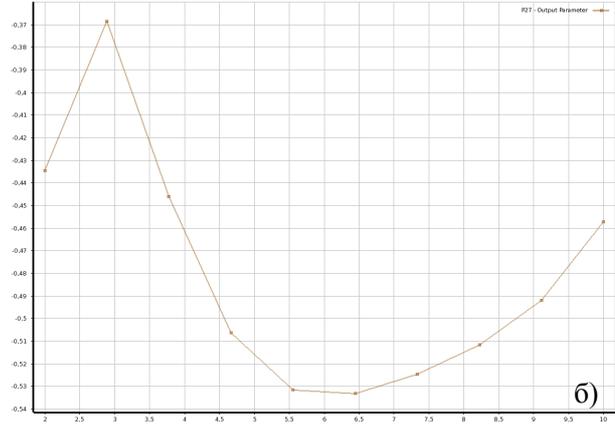
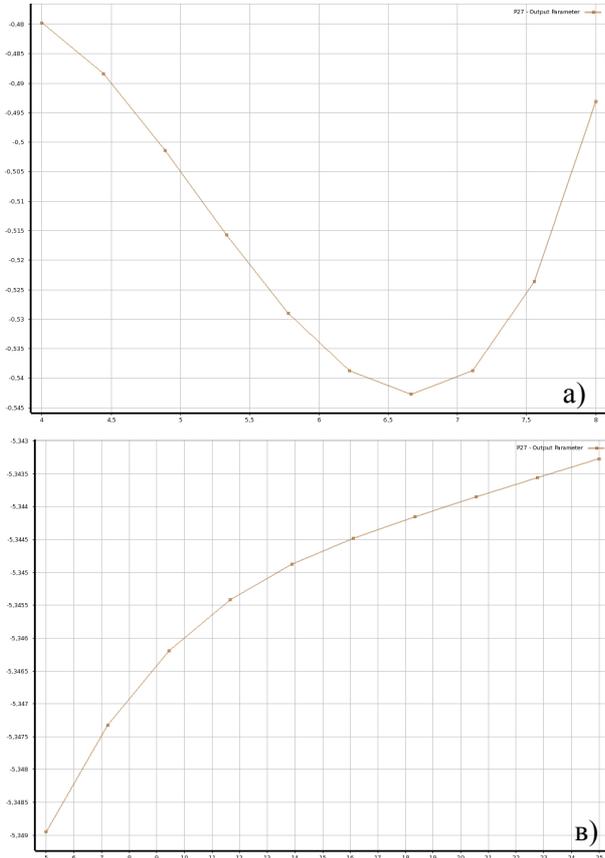


Рис. 7. Влияние геометрических параметров на показатель напряженного состояния η :
 а) – влияние ширины перемычки H1;
 б) – влияние радиуса закругления паза R1;
 в) – влияние длины паза V1

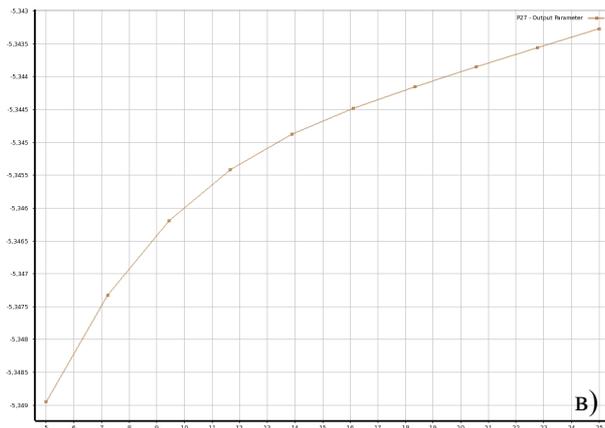


Таблица 1

Геометрические характеристики и соответствующие показатели напряженно-деформированного состояния

Номер образца	Длина паза V ₁ , мм	Двойной радиус закругления паза R1, мм	Половина ширины перемычки H1, мм	Показатель η	Показатель Надаи – Лоде μ_σ
1	2	3	4	5	6
Толщина образца – 1 мм					
1	17,250	4,600	2,750	0,094	-0,428
2	15,090	4,494	2,619	0,095	-0,417
3	6,690	4,658	2,926	0,091	-0,435
1	2	3	4	5	6
Толщина образца – 2 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,118	-0,358
2	16,53	4,037	2,355	0,127	-0,365
3	22,29	4,107	2,238	0,127	-0,371
Толщина образца – 3 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,118	-0,357
2	16,53	4,037	2,355	0,126	-0,365
3	22,29	4,107	2,238	0,127	-0,370
Толщина образца – 4 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,122	-0,371
2	22,29	4,107	2,238	0,127	-0,385
3	17,97	4,271	2,091	0,127	-0,385
Толщина образца – 5 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,109	-0,350
2	22,29	4,107	2,238	0,117	-0,375
3	17,97	4,271	2,091	0,118	-0,371
Толщина образца – 6 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,104	-0,323
2	16,53	4,037	2,355	0,109	-0,259
3	22,29	4,107	2,238	0,109	-0,277

Применяя образцы с геометрическими характеристиками, заданными в таблице 1, и учитывая поправку на различие условий деформирования от плоского напряженного состояния, можно получить одну из ключевых точек диаграммы пластичности, что, в свою очередь, позволяет оценить возможности процессов пластического деформирования. На основе анализа результатов оптимизации, представленных в таблице 1, видно, что целесообразно проектировать образцы с шириной перемычки 4 – 5 мм, радиусом закругления паза 2 – 2,5 мм и длиной паза около 5 мм.

Выводы

1. Разработанная конструкция образцов для испытаний листовых материалов позволяет оценить предельную деформацию в условиях близких к смещению.
2. Для уменьшения величины депланации зоны измерения необходимо уменьшить ширину рабочей зоны образца.
3. Лучшими геометрическими параметрами образца предложенной конструкции, который обеспечивает условия деформирования близкие к смещению, будут: ширина перемычки 4 – 5 мм, радиус закругления паза 2 – 2,5 мм, длина паза – около 5 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огородніков, В. А. Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації / Огородніков В. А., Музичук В. І., Нахайчук О. В. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 179 с.
2. Огородников, В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородников В. А. – К.: Вища школа, 1983. – 175 с.
3. Савуляк, В. В. Холодне формування заготовок з мінімальними радіусами кривизни з важкодеформівних листових матеріалів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.05 «Процеси та машини обробки тиском» / В. В. Савуляк. – Вінниця, 2007. – 21 с.

Писаренко Виктор Григорьевич – д. т. н., начальник КНВО "ФОРТ".
Казенное научно-производственное объединение "Форт".

Савуляк Виктор Валерьевич – к. т. н., доцент, доцент кафедры технологии и автоматизации машиностроения.

Быличкина Виктория Евгеньевна – студент института машиностроения и транспорта.
Винницкий национальный технический университет.