

## Исследование влияния Т-образных пазов базовых плит универсально-сборных штампов на прочность и жесткость

*Украинская государственная академия железнодорожного транспорта (УкрГАЖТ)*

Проведено исследование и получены результаты влияния Т-образных пазов базовых плит с различными геометрическими параметрами на жесткость и прочность универсально-сборной штамповой оснастки.

**Ключевые слова:** универсально-сборные штампы, прочность, жесткость, напряженно-деформированное состояние, базовые плиты, напряжения, перемещение, прогиб, паз.

В современных условиях существуют дискретно-нестабильные программы выпуска изделий машиностроительной отрасли, а при выполнении производственной программы по ходу их выпуска сталкиваются с широким диапазоном операций штамповки деталей, что соответственно приводит к изменению требований к технологической оснастке. Она должна обладать технологической гибкостью, быть надежной и долговечной, обеспечивать параметры точности и безопасности при экономической целесообразности ее изготовления.

Перечисленным требованиям отвечает универсально-сборная штамповая оснастка агрегатно-модульного построения конструкции, обеспечивающая возможность применения имеющихся на подавляющем количестве предприятий комплектов универсально-сборных приспособлений.

В состав таких универсально-сборных штампов (УСШ) входят блоки, собираемые на основе стандартизованных базовых плит с Т-образными пазами, направляющих элементов, прихватов и крепежных элементов (рис. 1, 2).

При смене номенклатуры штампуемых деталей каждый раз заменяют рабочие элементы (пуансоны и матрицы).

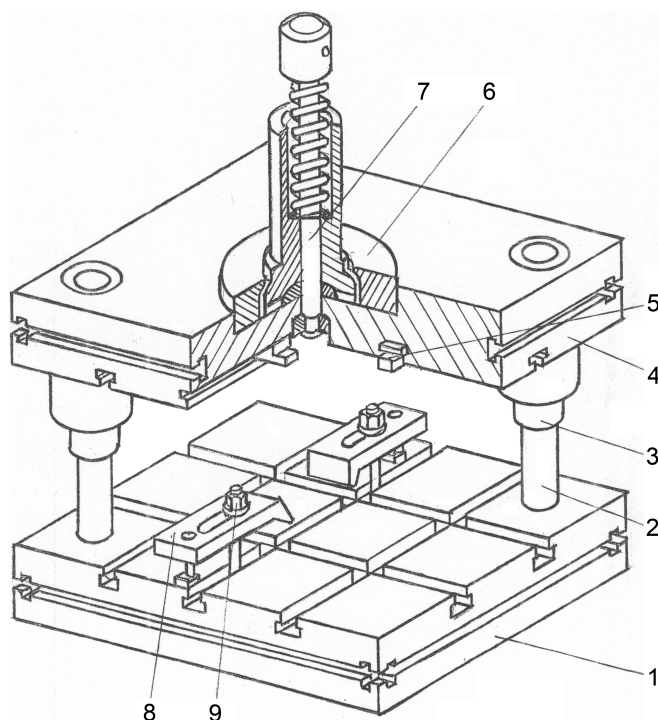


Рис. 1. Конструкция базового блока:  
1 – плита нижняя; 2 – направляющая колонка; 3 – втулка; 4 – плита верхняя;  
5 – шпонка; 6 – хвостовик;  
7 – устройство для выталкивания детали;  
8 – прихват; 9 – гайка

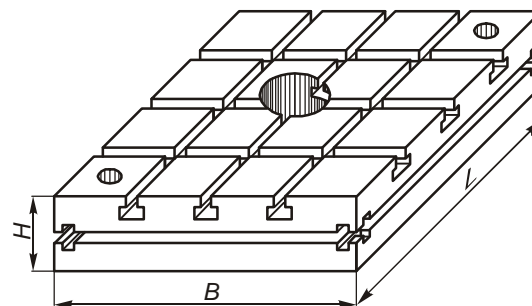


Рис. 2. Базовая плита

При таком режиме работы плиты блоков довольно продолжительный период подвергаются существенным нагрузкам, что при недостаточной жесткости и прочности может привести к выходу из строя конструкции штампа в целом.

В технической литературе отсутствуют в полном объеме исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) базовых плит УСШ с системой Т-образных пазов и их влияния на жесткость и прочность [1 – 6].

Целью данной работы является исследование влияния Т-образных пазов на прочность и жесткость базовых плит блоков универсально-сборных переналаживаемых штампов.

Для определения влияния Т-образных пазов на прочность и жесткость плит проведено исследование НДС узкой полосы, вырезанной из плиты и шарнирно опертой по концам, как показано на рис. 3, а.

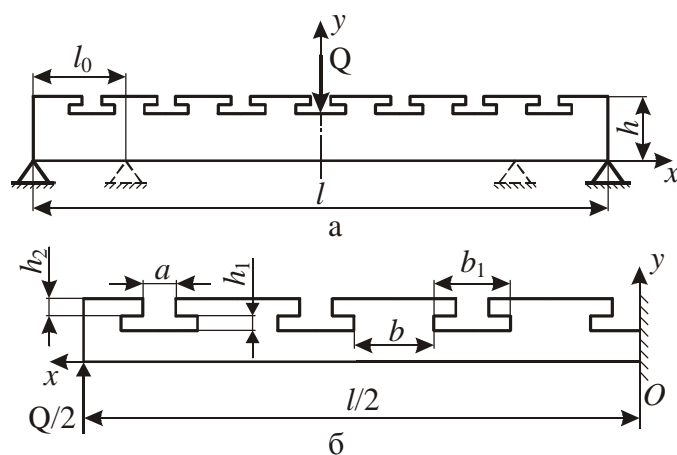


Рис. 3. Расчетная схема полосы, вырезанной из плиты

В качестве нагрузки принята сила  $Q$ , приложенная в центре пролета и равная

$$Q = Q' \cdot S / l, \quad (1)$$

где  $Q'$  – общая нагрузка на плиту;  $S$  – толщина полосы;  $l$  – габаритный размер плиты в направлении оси, перпендикулярной плоскости  $xOy$ .

Принимаем, что  $Q' = 10$  кН,  $l = 450$  мм,  $S = 1$  мм. Тогда  $Q = 0,022$  кН.

Поскольку картина нагружения исследуемого образца симметрична относительно оси  $Oy$ , аналогичные прочностные и жесткостные параметры будут получены и при рассмотрении консоли половинной длины, нагруженной половинным усилием  $Q/2$  на свободном конце (см. рис. 3, б). Данная расчетная схема дает возможность варьирования мест расположения шарнирной опоры или, соответственно, нагружающего усилия  $Q/2$  путем изменения параметра  $l_0$ .

Для достоверного анализа НДС исследованиям были подвергнуты 13 вариантов полосы, отличающихся друг от друга геометрическими параметрами (табл. 1). При этом изменяемые и расчетные параметры устанавливали по данным конструкторской документации исследуемых плит.

При расчете НДС исследуемых образцов использовали конечно-элементную сетку разбивки полос, показанную на рис. 4. Картина деформирования исходной формы полосы изображена на рис. 5, схема смещения отдельных сечений  $x = \text{const}$  образца – на рис. 6. Данные распределения свидетельствуют о том, что картина деформирования полосы по характеру соответствует гипотезе плоских сечений. Сечения  $x = \text{const}$  смещаются и поворачиваются без удлинения или укорочения и почти без искривления первоначально прямолинейной формы.

Таблица 1

Геометрические параметры образцов плоской полосы исследуемых плит, мм

Варианты	$l$	$l_0$	$a$	$b$	$h$	$h_1$	$h_2$
1. Плита с пазом 16 мм	450	0	16	36	40	8	10
2. Плита без пазов	450	0	–	–	40	–	–
3. Плита без пазов	450	0	–	–	22	–	–
4. Плита без пазов	450	0	–	–	29	–	–
5. Плита с пазом 16 мм	450	34	16	36	40	6	10
6. Плита с пазом 16 мм	450	40	16	36	40	8	10
7. Плита с пазом 16 мм	450	53	16	36	40	8	10
8. Плита с пазом 16 мм	450	75	16	36	40	8	10
9. Плита с пазом 16 мм	450	0	16	36	40	11	10
10. Плита с пазом 16 мм	450	0	16	36	40	15	10
11. Плита с пазом 16 мм	450	0	16	30	40	8	10
12. Плита с пазом 16 мм	450	0	12	20	40	8	10
13. Плита с пазом 12 мм	450	0	12	40	40	8	8

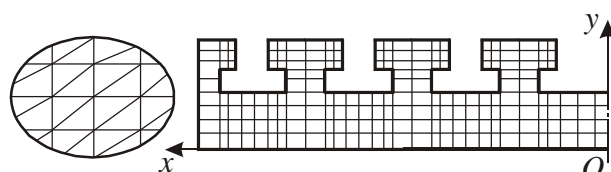


Рис. 4. Схема конечно-элементной разбивки полосы плиты

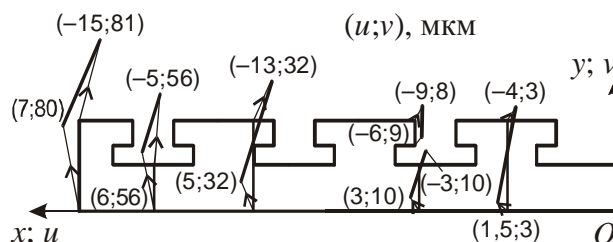


Рис. 6. Схема размещения отдельных сечений полосы с Т-образными пазами

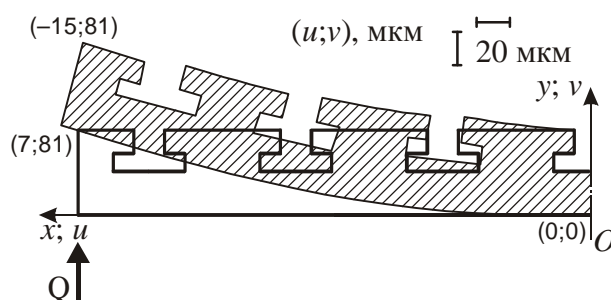


Рис. 5. Картина деформирования полосы с Т-образными пазами

Доминирующей деформацией полосы является перемещение  $v$  (рис. 5), уровень которого примерно в 6 раз выше, чем уровень  $u$ . Максимальное значение  $v = 81$  мкм достигается на наружном крае полосы; при приближении к заземленному краю перемещения  $v$  монотонно убывают до нулевого значения.

Для напряженного состояния полосы характерно преобладание напряжений  $\sigma_x$ , уровень которых в три раза превышает уровень  $\sigma_y$  и в четыре раза – уровень  $\tau_{xy}$ . Эпюры напряжений  $\sigma_x$  в наиболее характерных сечениях  $y = \text{const}$  и  $x = \text{const}$  показаны на рис. 7, 8.

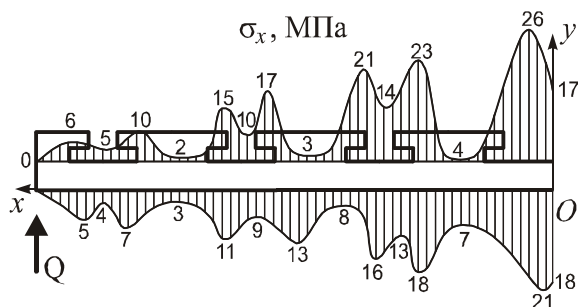


Рис. 7. Эпюры напряжений  $\sigma_x$  в полосе с Т-образными пазами в сечениях  $x = \text{const}$

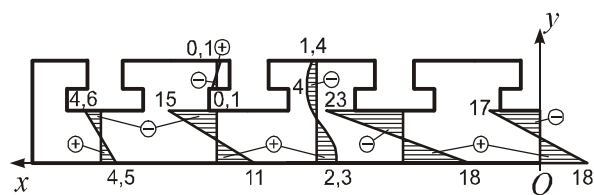


Рис. 8. Распределение напряжений  $\sigma_x$  в плоском образце с Т-образными пазами в сечениях  $y = \text{const}$

Из рис. 7, 8 видно, что уровень напряжений в зоне пазов существенно выше, чем в зоне выступов (гребешков), причем резкая концентрация напряжений наблюдается в области сопряжения гребешок – паз. Максимального значения напряжения  $\sigma_x$  достигают в зоне консольного защемления и составляют 25 МПа, на нагруженном крае  $\sigma_x = 0$ . Распределение напряжений в сечениях  $x = \text{const}$  по характеру близко к распределению по линейному закону, за исключением зон в районе гребешков, где закон их изменения по координате  $y$  существенно отличается от линейного.

Эквивалентные напряжения  $\sigma_9$ , вычисленные на основе энергетической теории, по характеру распределения и абсолютным величинам (рис. 9.) соответствуют доминирующим напряжениям  $\sigma_x$ .

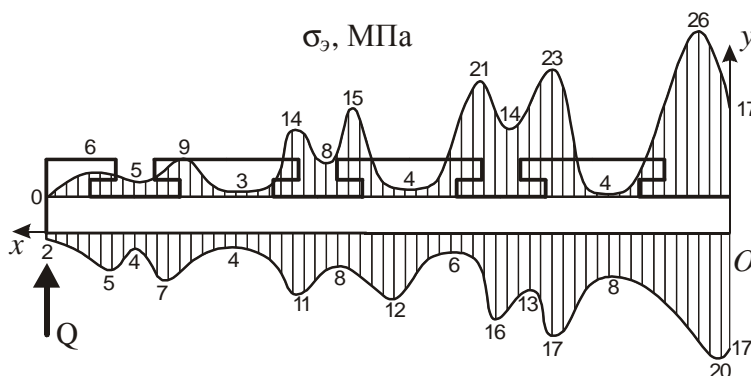


Рис. 9. Эпюры напряжений  $\sigma_9$  в полосе с Т-образными пазами в сечениях  $x = \text{const}$

На рис. 10 показаны картины деформирования полос без Т-образных пазов высотой  $h = 22, 28$  и  $40$  мм. Из рисунка видно, что переход от высоты  $40$  мм к  $22$  мм приводит к росту перемещений в пять раз при сохранении характера распределения, свойственного и полосе с Т-образными пазами (см. рис. 5). При этом прогибы последней  $v = 81$  мкм занимают промежуточное положение между прогибами полос высотой  $40$  мм ( $28$  мкм) и  $22$  мм ( $142$  мкм). Таким образом, можно заключить, что

$$v = k_v^{(2)} \cdot v_2, \quad (2)$$

где  $v_1, v_2$  – максимальные прогибы соответственно для первого и второго вариантов исполнения полос по табл. 1;  $k_v^{(2)}$  – коэффициент перевода прогибов  $v$  от полосы второго варианта исполнения к полосе первого варианта.

Напряжения  $\sigma_x$ , эпюры которых изображены на рис. 10, в полосе высотой 40 мм имеют близкий к линейному закон изменения по координате  $x$  (нулевое значение – на нагруженном краю, максимальное в зоне защемления) и линейный по координате  $y$  (нулевое значение у линии  $y = h/2$ ). Это соответствует характеру распределения  $\sigma_x$  в консольно закрепленном стержне с аналогичной схемой нагружения.

Учитывая, что тенденция распределения  $\sigma_x$  в полосе с Т-образными пазами соответствует в среднем (за исключением зон резкого изменения геометрической формы) показанной на рис. 11 картине, можно также предположить, что

$$\sigma_1 = k_{\sigma}^{(2)} \cdot \sigma_2, \quad (3)$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  – максимальные напряжения соответственно для первого и второго вариантов полос по табл. 1;  $k_{\sigma}^{(2)}$  – коэффициент перевода напряжений  $\sigma_x$  от полосы второго варианта исполнения к полосе первого варианта.

Коэффициенты  $k_y^{(i)}$ ,  $k_{\sigma}^{(i)}$  для приведения параметров прочности и жесткости от  $i$ -го варианта к 1-му варианту исполнения полосы (универсальной сменной плиты), а также характеристики НДС исследованных полос сведены в табл. 2.

Используя ранее полученные результаты исследования плит без Т-образных пазов и данные табл. 2, устанавливаем максимальные значения параметров НДС плит с Т-образными пазами табл. 3.

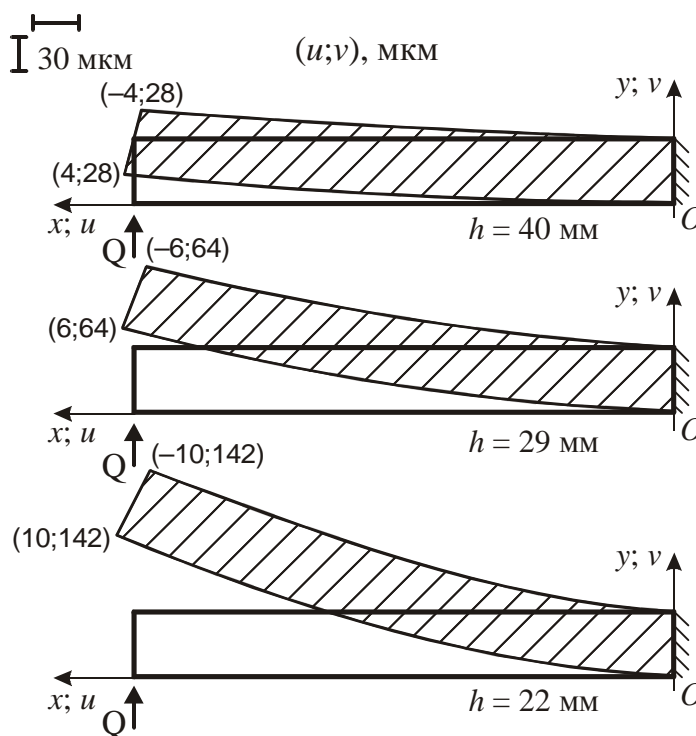


Рис. 10. Картина деформирования полос плиты постоянной толщины с высотой 40, 29 и 22 мм

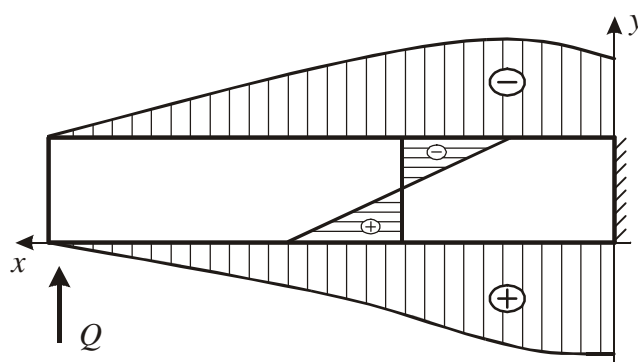


Рис. 11. Напряжения  $\sigma_x$  в сплошной полосе плиты высотой 40 мм

Таблица 2

Параметры НДС образцов плоской полосы исследуемых плит\*

Номер варианта по табл. 1	$\nu$ , мкм	$\sigma_x$ , МПа	$\sigma_y$ , МПа	$\tau_{xy}$ , МПа	$\sigma_\vartheta$ , МПа	$k_\nu$	$k_\sigma$
1	81	26,2	8,5	6,7	25,9	1,0	1,0
2	28	9,3	13,6	1,6	8,5	2,9	2,82
3	143	34,3	11,3	6,6	32,7	0,57	0,76
4	64	16,4	6,0	3,1	15,3	1,46	1,6
5	62	22,5	7,2	5,7	22,2	1,3	1,16
7	52	20,4	6,6	5,1	20,1	1,56	1,28
8	41	17,9	5,8	4,5	17,7	2,0	1,26
9	82	26,7	8,6	6,9	26,4	0,99	0,98
10	87	28,7	9,3	7,3	28,4	0,93	0,91
11	81	17,1	5,8	4,9	17,6	1,0	1,53
12	85	15,2	5,9	4,0	14,1	0,95	1,72
13	66	19,3	6,1	3,2	19,2	1,23	1,36

\* – в таблице приведены максимальные значения параметров.

Таблица 3

Максимальные значения параметров НДС плит с T-образными пазами

Габаритные размеры плиты, мм	Тип нагружения	$W$ , мкм	$\sigma_x$ , МПа	$\sigma_y$ , МПа	$\tau_{xy}$ , МПа	$\sigma_\vartheta$ , МПа
450×300×40	$P$	2,1	5,9	3,24	1,54	5,84
	$M_x$	1,42	4,3	4,94	1,2	4,26
	$M_y$	1,39	4,6	1,6	1,2	4,55
450×450×40	$P$	2,9	4,5	2,1	1,17	4,5
	$M_x$	5,8	14,1	2,1	3,7	13,97
	$M_y$	2,7	8,2	3,0	2,1	8,2

### Выводы

Анализ ранее полученных данных и представленных в табл. 2, 3 позволяет сделать следующие выводы:

- действующие в плитах напряжения в 1,4 – 4,2 раза ниже допускаемых их значений, что свидетельствует о достаточной прочности плит;
- двухкратное увеличение размера паза  $h_1$  (варианты 1, 9, 10 по табл. 2) при неизменной высоте  $h$  приводит к росту уровня прогибов на 7,4% и напряжений на 9,5%, что практически не влияет на жесткость и прочность плит;
- с увеличением расстояния  $b_1$  между краями T-образных пазов в 1,8 раза (варианты 1, 11, 12 по табл. 2) прогибы плит увеличиваются на 4,9% при значительном снижении уровня действующих напряжений, что обусловлено их перераспределением и уменьшением степени концентрации в со-

- пряжении «паз – гребешок»;
- увеличение расстояния  $l_0$  от края плиты до опоры вызывает монотонное снижение уровня прогибов и напряжений (варианты 5 – 8, табл. 2), что положительно сказывается на жесткости и прочности плит;
  - уменьшение ширины паза  $a$  с 16 до 12 мм приводит к повышению жесткости плиты в 1,23 раза и снижению уровня напряжений в 1,32 раза (варианты 1, 13, табл. 2).

#### Список литературы

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 520 с.
2. Чижиков, Н.В. Аналитическая оценка нерешенной системы обратимых штампов [Текст] / Н.В. Чижиков, М.М. Буденный // Вестн. Нац. тех. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. – Вып. 11. – Х., 2001. – С. 83 – 89.
3. Буденный, М.М. К вопросу о рациональном креплении нижних плит штампов на прессах [Текст] / М.М. Буденный // Высокие технологии в машиностроении: сб. науч. тр. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – Вып. 1(10). – Х., 2005. – С. 56 – 61.
4. Фотеев, Н.К. Высокоустойчивые штампы [Текст] / Н.К. Фотеев. – М.: Машиностроение, 1965. – 260 с.
5. Звороно, Б.П. Расчет и конструирование штампов для холодной штамповки [Текст] / Б.П. Звороно. – М.: Машгиз, 1949. – 238 с.
6. Зубцов, М.Е. Листовая штамповка [Текст] / М.Е. Зубцов. – Л.: Машиностроение, 1967. – 504 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, зав. каф. Л.А. Тимофеева,  
Украинская государственная академия железнодорожного  
транспорта (УкрГАЖТ), Харьков.

Поступила в редакцию 21.09.11.

### Дослідження впливу Т-подібних пазів базових плит універсально-збірних штамів на міцність та жорсткість

Проведено дослідження і отримано результати впливу Т-подібних пазів базових плит із різними геометричними параметрами на жорсткість і міцність універсально-збірного оснащення.

**Ключові слова:** універсально-збірні штампви, міцність, жорсткість, напружено-деформований стан, базові плити, напруження, переміщення, прогин, паз.

### Investigation of Impact of Modular Die Base Plate T-slots on Strength and Rigidity

An investigation of impact of base plate T-slots with various geometrical parameters on strength and rigidity of modular die equipment has been conducted and respective results have been obtained.

**Keywords:** modular dies, strength, rigidity, stress-strain state, base plates, stresses, deflection, sag, slot.