

УДК 621.992

## **ГЕОМЕТРИЯ И ПРОЧНОСТЬ ОТВЕРСТИЙ ПОД РЕЗЬБУ, ОБРАЗОВАННЫХ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПУАНСОНОМ, В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ**

*П.В. Шаламов*

Рассмотрен способ формообразования отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках толщиной менее 2 мм вращающимся пуансоном. Определены основные входные и выходные параметры операции, определён коэффициент трения и разработана методика по использованию данного способа в производстве.

Ключевые слова: тонколистовая заготовка, пуансон, прочность, коэффициент трения, параметры операции.

В машиностроении широко применяются изделия из тонколистовых заготовок, предусматривающие резьбовое крепление к ним различных комплектующих деталей. Для обеспечения работоспособности резьбового соединения необходима длина свинчивания, достаточная для образования не менее трёх витков резьбы. Существуют различные методы для повышения длины свинчивания. Такие, как гибка листа, приварка втулок, метод пластического деформирования в закрытых штампах и другие. Однако, большинство существующих методов недостаточно технологичны. Требуют применения специального оборудования и приспособлений. Наиболее рациональным представляется метод пластического деформирования заготовок вращающимся пуансоном. Процесс проходит при нагреве заготовки за счёт сил трения между инструментом и заготовкой. Весь деформируемый металл идёт на образование верхней и нижней отбортовки отверстия, тем самым обеспечивая необходимую длину свинчивания и безотходность процесса [1]. Для определения основных параметров процесса (осевой силы, температуры, времени протекания процесса) и геометрических размеров образуемых отборонок отверстий была разработана экспериментальная установка [2] на базе вертикально-сверлильного станка с рычажной системой, обеспечивающей осевое перемещение инструмента под заданной нагрузкой и плавное регулирование осевой силы в широком диапазоне. По характеру образования отверстия и изменению осевой силы установлены 4 стадии протекания процесса (рис. 1).

На первой стадии происходит нагрев заготовки за счёт сил трения, внедрение пуансона в заготовку, пластическое течение металла в верхнюю и нижнюю части заготовки с началом образования отборонок отверстия. На второй стадии процесса происходит колебание осевой силы вследствие разрушения нижней плоскости заготовки. На третьей стадии осевая сила несколько снижается, что связано с изменением момента рычажной системы. На четвёртой стадии, в момент выхода конуса пуансона из сформиро-

ванного отверстия, осевая сила снижается до нуля. В заготовках меньшей толщины, количество стадий уменьшается в связи с сокращением времени протекания процесса второй и третьей стадий. Подобное формообразование отбортовок наблюдается при использовании пуансонов других диаметров.

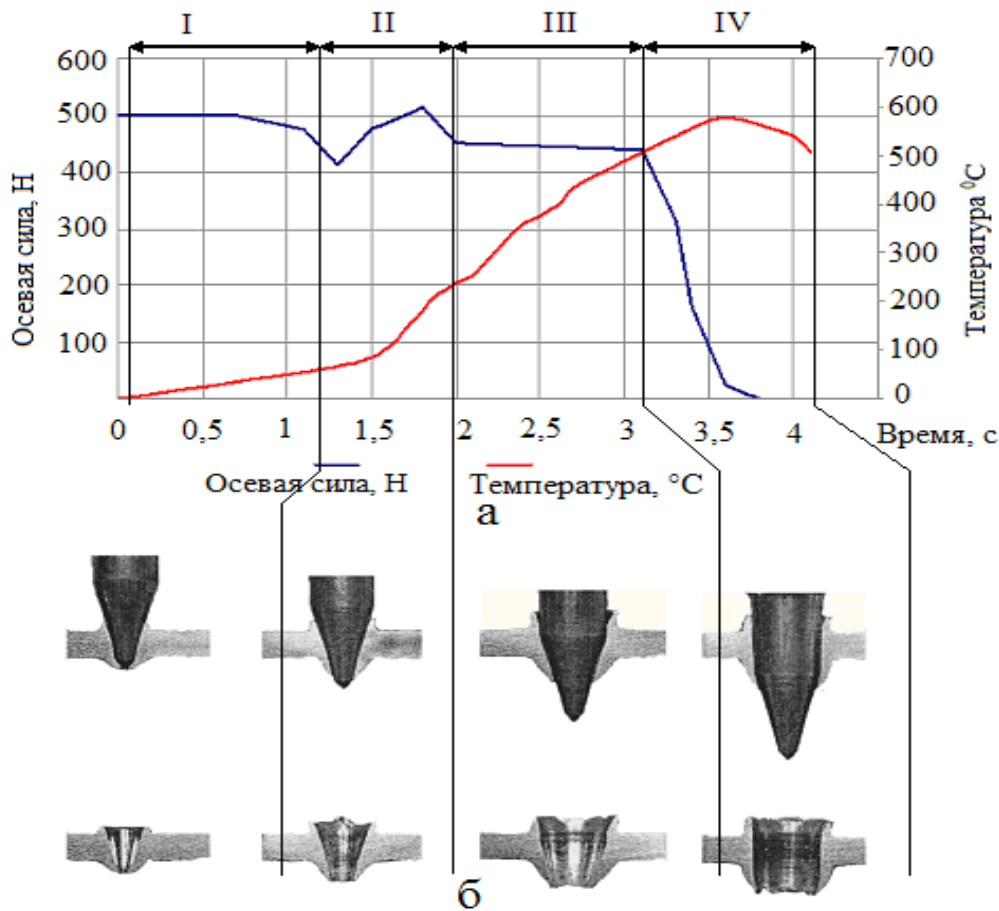


Рис. 1. Стадии формообразования отверстия : а – изменение осевой силы  $P_{oc}$  и температуры  $T$  °C в точке измерения, во время процесса  $t$ ; б – I-II-III-IV – стадии процесса (диаметр пуансона  $d = 5$  мм; толщина заготовки  $\delta = 2,0$  мм)

На рис. 2 представлены размеры и фотографии внешнего вида отверстий с отбортовками. Видно, что в заготовке толщиной 0,8 мм верхняя отбортовка не образуется, а весь деформируемый металл идёт на образование только нижней отбортовки. Установлено, что профиль наружных поверхностей отбортовок представляет параболу, а общая их форма – усечённый параболоид.

Для определения взаимосвязи основных входных и выходных параметров операции производился ряд экспериментов. Исследования показали, что при уменьшении осевой силы увеличивается температура и время протекания процесса, при этом геометрические параметры отбортовок практически остаются неизменными. В табл. 1 представлены экспериментальные результаты полученных параметров отбортовок и температура формообразования в зависимости от осевой силы и толщины заготовки.

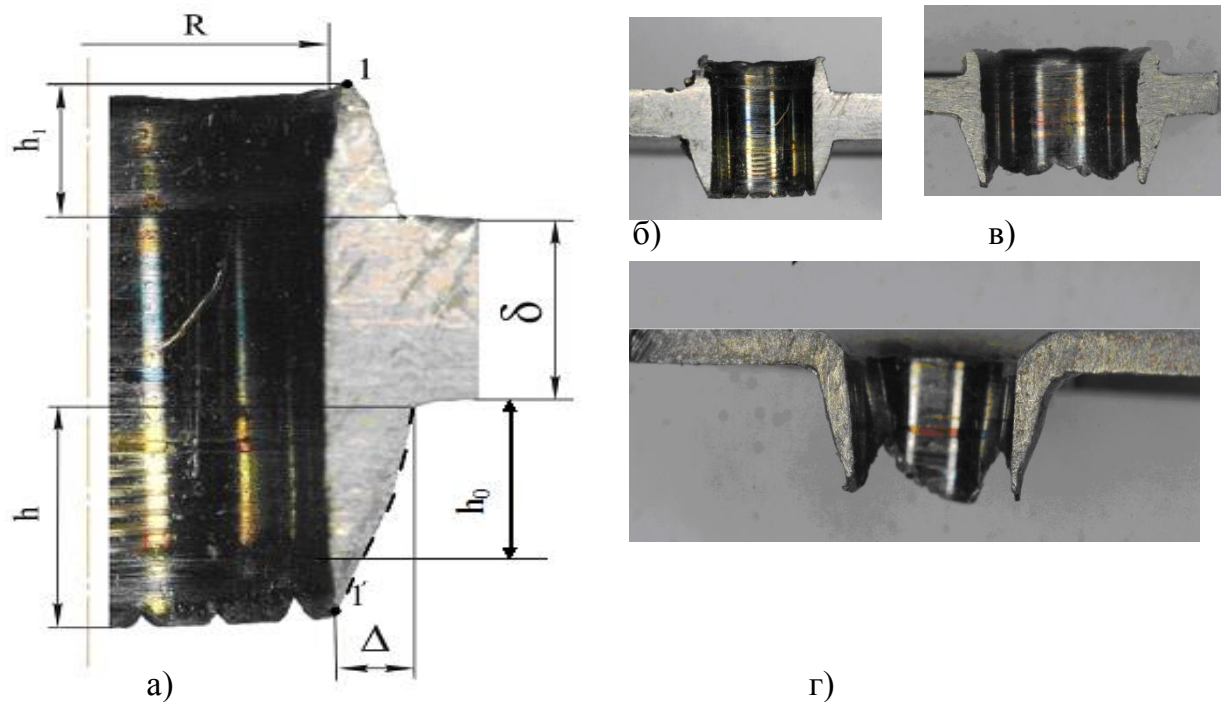


Рис. 2. Отверстия с отбортовками, полученные в результате экспериментов: а – геометрические параметры ( $\delta$  – толщина заготовки, мм;  $R$  – радиус отверстия, мм;  $h$  и  $h_1$  – высота нижней и верхней отбортовок, мм;  $h_0$  – высота нижней отбортовки отверстия до разрыва поверхности, мм;  $\Delta$  – толщина основания отбортовки, мм;  $l$  и  $l'$  – точки измерения температур; --- – расчётная парабола); б, в, г – внешний вид отверстий с отбортовками образованных пуансоном диаметром 5 мм в заготовках толщиной 2,0; 1,5 и 0,8 мм соответственно

Таблица 1

Влияние осевой силы и толщины заготовки  
на технологические параметры отверстий с отбортовками

Исходные данные		Экспериментальные результаты				
$\delta$ , мм	$P_{ос}$ , Н	$T$ , °С	$t$ , с	$h$ , мм	$\Delta$ , мм	$h_1$ , мм
2	440	577	3,8	2,6	1,0	1,3
	350	610	8,0	2,7	1,0	1,1
	180	620	14,7	2,7	1,1	1,1
1,5	320	400	3,5	2,5	0,9	1,0
	200	410	7,0	2,4	1,0	1,0
	125	450	11,0	2,5	1,0	1,0
0,8	170	300	4,5	2,5	0,8	–
	100	340	6,8	2,7	0,8	–
	80	340	9,1	2,7	0,7	–

Приведённые результаты свидетельствуют и том, что осевая сила, температура и время протекания процесса взаимосвязаны и практически не влияют на геометрические параметры отбортовок. При изменении частоты

вращения пуансона геометрические размеры отбортовок также не изменяются. Данное положение может служить основой для управления процессом.

С учётом того, что отбортовки имеют вид усечённых параболоидов, а весь металл отверстия идёт на образование отбортовок, можно определить высоту верхней и нижней отбортовок отверстия в зависимости от доли металла  $b$ , участвующей в образовании нижней отбортовки [3]. Получены уравнения для определения высоты верхней  $h_1$  и нижней  $h$  отбортовки:

$$h = \frac{2bR^2\delta}{(2R + \Delta)\Delta}; \quad (1)$$

$$h_1 = \frac{2(1-b)R^2\delta}{(2R + \Delta)\Delta}. \quad (2)$$

Длина свинчивания определяется эффективной высотой отбортовки, зависящей от шага резьбы и толщины основания отбортовки (рис. 3), и толщиной заготовки:

$$L_{св} = h \left[ 1 - \frac{(0,866P)^2}{\Delta^2} \right] + \delta, \quad (3)$$

где  $P$  – шаг резьбы.

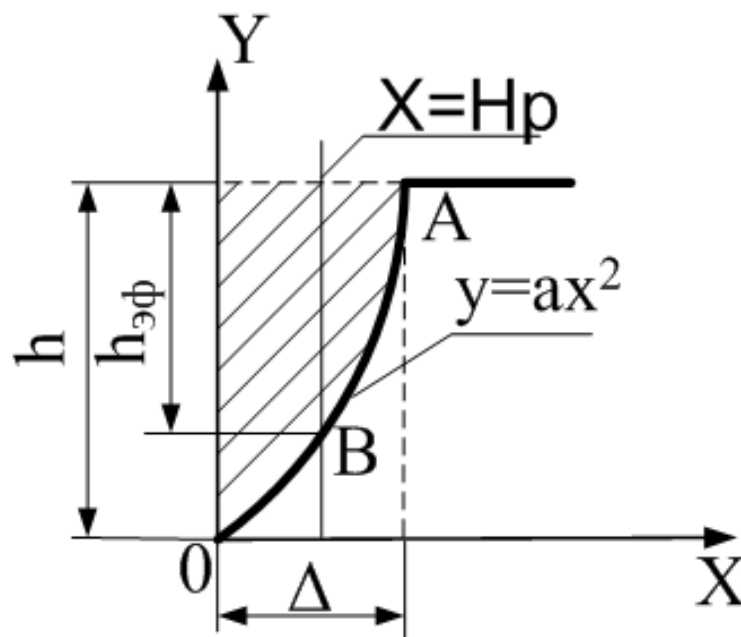


Рис. 3. Схема расчета эффективной высоты нижней отбортовки отверстия:  
 $x = H_p$  – высота метрической резьбы;  $h_{эф}$  – эффективная высота,  
определяющая длину свинчивания, мм;  $a$  – коэффициент параболы ( $a = \frac{h}{\Delta^2}$ )

Зная длину свинчивания можно определить силу, вызывающую срез витков резьбы [4] по известной формуле:

$$F_{\text{ср}} = \pi d L_{\text{св}} K_{\text{Г}} K_{\text{М}} \tau_{\text{ср}}, \quad (4)$$

где  $d$  – внутренний диаметр резьбы гайки;  $K_{\text{Г}}$  – коэффициент полноты резьбы, характеризующий длину контакта (перекрытие) витков резьбы болта и гайки;  $K_{\text{М}}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность деформирования витков по высоте гайки при наличии пластической деформации;  $\tau_{\text{ср}}$  – предел прочности на срез.

В табл. 2 приведены результаты расчётов силы, вызывающей срез витков резьбы и экспериментальные данные по замерам прочности резьбового соединения на срез, проведённые на прессе Tinius Olsen H100KU при скорости нагружения 1,5 мм/мин. Там же приведены геометрические размеры отбортовок и режимные параметры процесса.

Таблица 2

Влияние геометрических размеров отбортовок отверстий на расчётную и фактическую прочность резьбы на срез

$\delta$ , мм	$P_{\text{ос}}$ , Н	$T$ , °С	$h$ , мм	$\Delta$ , мм	$h_1$ , мм	$L_{\text{св}}$ , мм	Кол-во витков	$F_{\text{р}}$ , Н	$F_{\text{ф}}$ , Н
2,0	440	540	2,5	0,9	1,0	3,7	4,7	5780	9400
1,5	220	400	2,4	0,8	0,8	2,3	2,9	4330	6300
1,0	150	350	2,4	0,7	–	1,1	1,4	1880	2270
0,8	120	300	2,4	0,7	–	0,9	1,1	1600	2210

Примечание: диаметр пуансона  $d = 4,2$  мм, материал пуансона ВК6, резьба М5х0,8, материал заготовки 08 кп, материал болта Ст3,  $\tau_{\text{ср}} = 200$  МПа,  $K_{\text{Г}} = 0,8$ ,  $K_{\text{М}} = 0,75$

Из табл. 2 следует, что фактическая прочность резьбового соединения больше расчётной, что связано с упрочнением материала заготовки в зоне формообразования отверстия. Для проверки данного предположения были проведены эксперименты по определению прочности резьбового соединения на срез в заготовках толщиной 2,0 мм с отверстиями, образованными различными методами. В одном случае отверстие под резьбу было образовано вращающимся пуансоном с последующим срезом верхней и нижней отбортовок, а в другом было образовано сверлом. Результаты проведения экспериментов приведены на графиках (рис. 4). Из графиков видно, что сила, вызывающая срез витков резьбы в отверстии, образованным вращающимся пуансоном, составляет 6100 Н, а в отверстии образованным сверлением – 4110 Н, что подтверждает предположение о упрочнении металла при деформации.

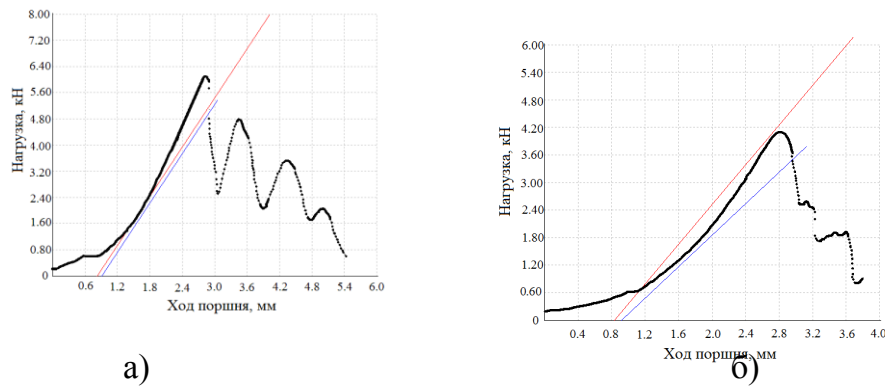


Рис. 4. Диаграмма разрушения резьбового соединения М5х0,8 в образце толщиной 2,0 мм, отверстие в котором образовано: а – вращающимся пуансоном с последующим срезом отбортовок; б – сверлением

Проведённые эксперименты показали, что в зоне деформации, прилегающей к внутренней поверхности отверстия, происходит упрочнение металла. Зона упрочнения отверстия в заготовке толщиной 2,0 мм составляет 1,5 мм, а отверстия, образованного в заготовке толщиной 0,8 мм – 1,0 мм. Следовательно, резьба в отверстиях находится в зоне упрочнения, что объясняет более высокие значения нагрузки разрушения витков резьбы в проведённых экспериментах, по сравнению с расчётными значениями.

На основании проведённых исследований предлагается применять в производстве вертикально-сверлильные станки с рычажной системой, обеспечивающие свободное перемещение пуансона при заданной нагрузке. В качестве инструмента предлагается применять пуансоны трёх типов с углом конуса 20°. Материал пуансона – твёрдый сплав ВК6.

Для разработки операции формообразования отверстий с отбортовками необходимы данные об осевой силе, времени процесса, а также о высоте и толщине основания стенки нижней отбортовки, приведённые на рис. 5–7.

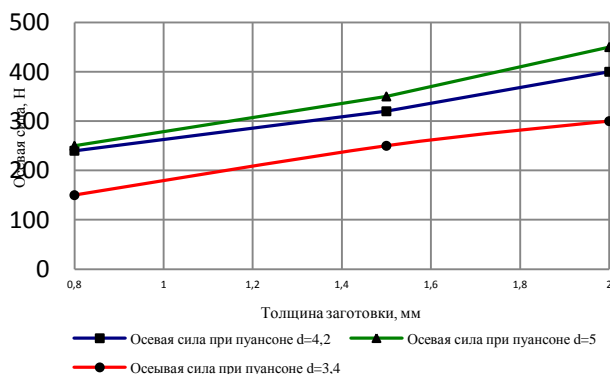


Рис. 5. Зависимость осевой силы от толщины заготовки

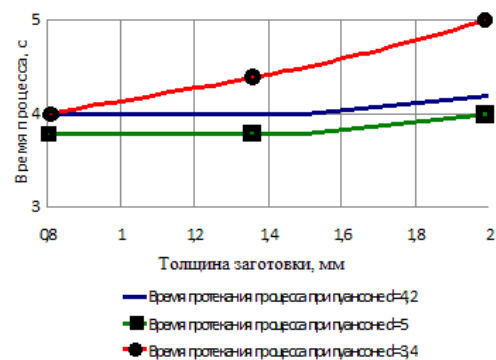


Рис. 6. Зависимость времени протекания процесса от толщины заготовки и диаметра пуансона

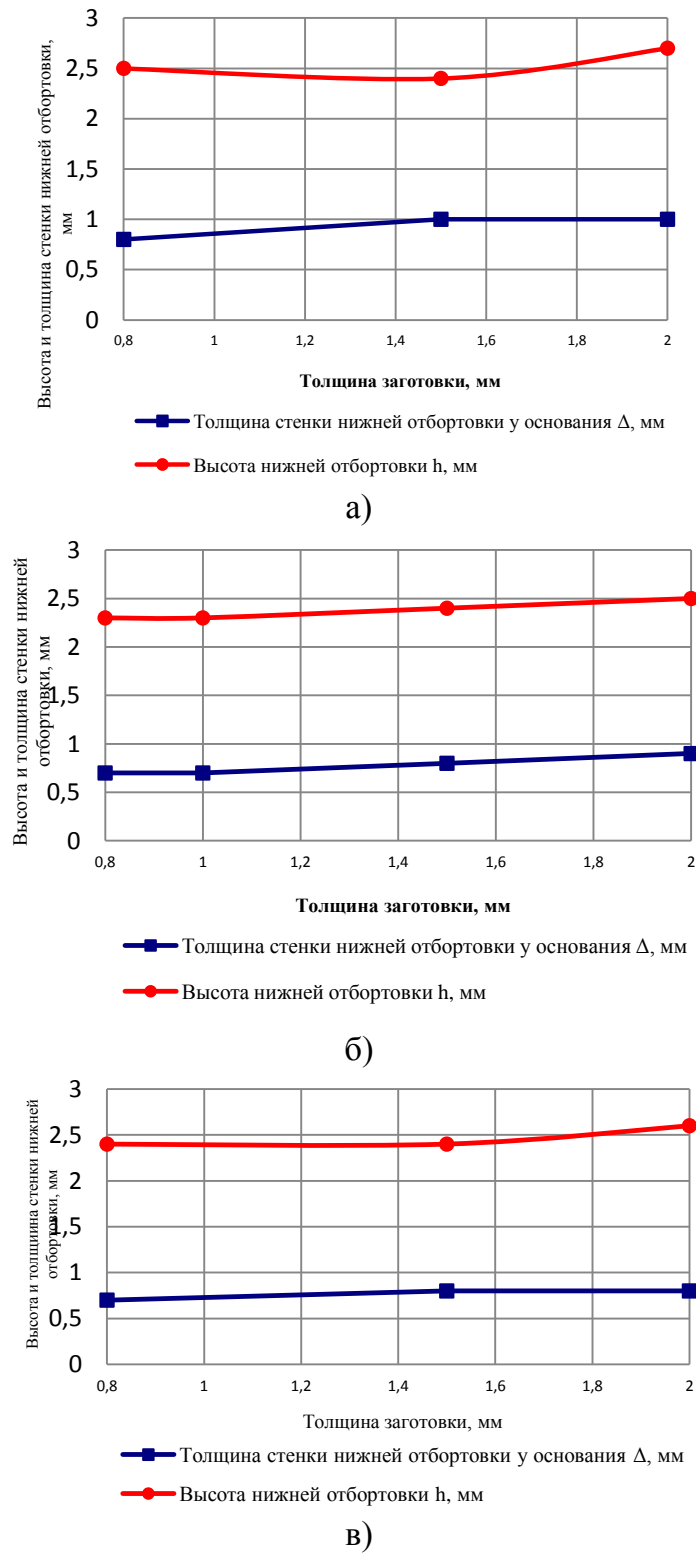


Рис. 7. Зависимость толщины и высоты нижней отбортовки от толщины заготовки при пуансоне:  
а –  $d = 5$  мм; б –  $d = 4,2$  мм; в –  $d = 3,4$  мм

Для назначения параметров операции и расчёта прочности резьбового соединения предлагается следующая методика:

1. Диаметр пуансона выбирается в зависимости от номинального диаметра резьбы по методике, принятой для выбора свёрл.
2. По графикам (см. рис. 5), в зависимости от толщины заготовки и диаметра пуансона, выбирается осевая сила для процесса формообразования отверстия с отбортовками.
3. В зависимости от толщины заготовки и диаметра пуансона определяется время процесса (см. рис. 6).
4. По графикам (см. рис. 7) определяется высота  $h$  и толщина основания  $\Delta$  нижней отбортовки отверстия, в зависимости от толщины заготовки и диаметра пуансона.
5. По известным значениям  $h$  и  $\Delta$  определяется длина свинчивания (формула (3)) с учётом выбранного типа резьбы.
6. Рассчитывается предельная прочность резьбового соединения на срез по формуле (4) с учётом выбранной резьбы, длины свинчивания и коэффициентов, входящих в формулу. В случае равенства толщины основания отбортовки и высоты профиля резьбы выбирается резьба с меньшим шагом.

#### Библиографический список

1. Шаламов, П.В. Формирование отверстий вращающимся пуансоном в листовой заготовке / П.В. Шаламов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2011. – № 18. – С. 81–84.
2. Установка для формообразования отверстий с отбортовками в тонколистовых заготовках. Патент на полезную модель № 116388 от 27.05 2012 Приоритет 12.12.2011 г. / В.И. Гузеев, П.В. Шаламов // ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ).
3. Гузеев, В.И. Определение параметров отбортовки и длины свинчивания при изготовлении отверстия вращающимся пуансоном в тонколистовом металле / В.И. Гузеев, П.В. Шаламов, С.Е. Радийчук // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 2. – С. 25–29.
4. Гузеев, В.И. Прочность резьбового соединения на срез в отверстиях с отбортовками, образованных вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках / В.И. Гузеев, П.В. Шаламов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2012. – Вып. 19. – № 12(271). – С. 209–213.

[К содержанию](#)