

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОТВЕРСТИЙ, ПЕРФОРИРУЕМЫХ В ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЯХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ**

В самолетостроении и авиационном двигателестроении существует большая номенклатура листовых деталей, одним из конструктивных элементов которых является большое количество отверстий, расположенных на ограниченном участке с диаметром, сравнимым с толщиной изделия [1 – 3]. Обычно такие отверстия изготавливаются либо обработкой резанием (сверление, фрезерование), либо физико-химической обработкой (электроэрозионная, лазерная и т.п.). Поскольку применение данных способов требует наличия дополнительной оснастки или рабочих высокой квалификации, то в работе [4] при мелкосерийном производстве предлагается использование электрогидравлической штамповки (ЭГШ) для изготовления данного типа деталей.

Следует отметить, что в работе [3] рассматривается технология беспуансонного перфорирования отверстий способом ЭГШ, однако этот способ не позволяет получить отверстия с соотношением их диаметра к толщине детали меньше трех независимо от величины давления, воздействующего на заготовку, в то время как в работе [4] используется перфорирование отверстий «на пуансон», позволяющее обойти указанное ограничение за счет увеличения площади нагружения.

Однако в указанной статье определены лишь энергетические характеристики процесса перфорирования отверстий, т.е. зависимость параметров разрядного контура электрогидравлического пресса от геометрических характеристик перфорируемых отверстий и механических свойств листового материала.

Тем не менее основной технологической целью является обеспечение качества изготавливаемых отверстий, поэтому основной целью данного исследования является определение показателей качества перфорируемых отверстий. Качество перфорируемых отверстий определяется, во-первых, размерной точностью и шероховатостью полученного отверстия, а также точностью его формы и, во-вторых, точностью их расположения на детали и их взаимного расположения.

Исследование перфорирования отверстий выполнялось с помощью оснастки, показанной на рис. 1. Заготовка устанавливалась на пуансоны 1 и проштамповывалась до касания к верхней плите 2. Промежуточная плита 3 служит для размещения выталкивателей,

предназначенных для облегчения снятия заготовки после штамповки. Для определения зависимости требуемого давления от диаметра перфорируемого отверстия использовались пуансоны диаметром 1, 2 и 3 мм. При этом пуансоны располагались в узлах сетки на одинаковом расстоянии друг от друга.

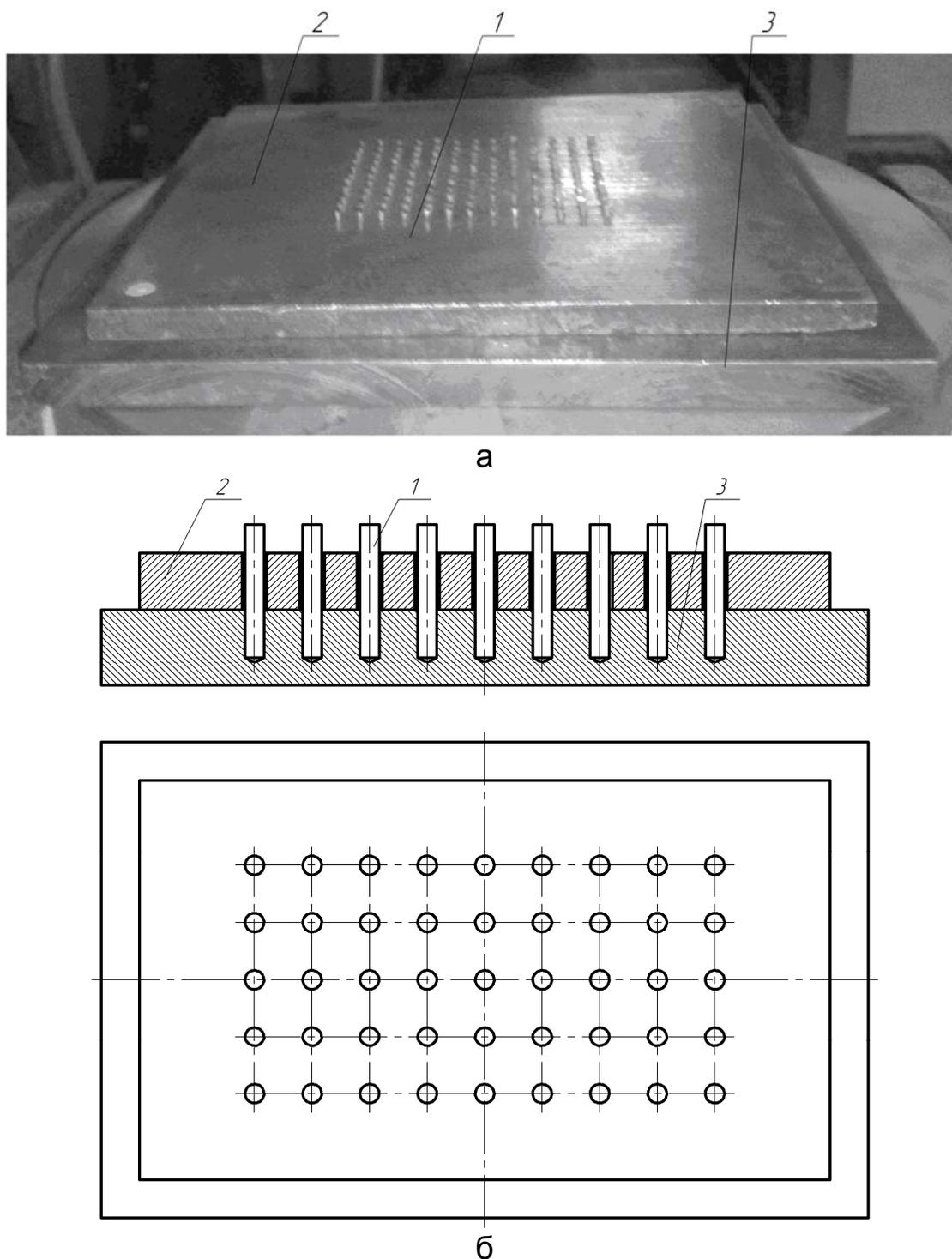


Рисунок 1 – Экспериментальная оснастка для перфорирования отверстий: а – общий вид; б – эскиз:

1 – пуансон; 2 – верхняя плита; 3 – промежуточная плита

Параметры точности перфорированных отверстий, а также параметры формы и их расположения определялись на микроскопе МБС-9 (рис. 2).



Рисунок 2 – Микроскоп МБС-9

Определение геометрических параметров перфорированных отверстий (размерная точность, точность расположения и формы) выполнялось на образцах, схемы которых приведены на рис. 3.

Исследование перфорирования отверстий выполнялось с использованием плоских образцов, изготовленных из алюминиевых сплавов Д16АМ, АМг2М и стали 08кп, что позволило определить влияние предела прочности материала на величину давления, необходимого для перфорирования отверстий. Влияние толщины заготовок на величину потребного давления определялось за счет использования листового материала различной толщины: 0,5; 0,65; 1,36 и 2 мм.

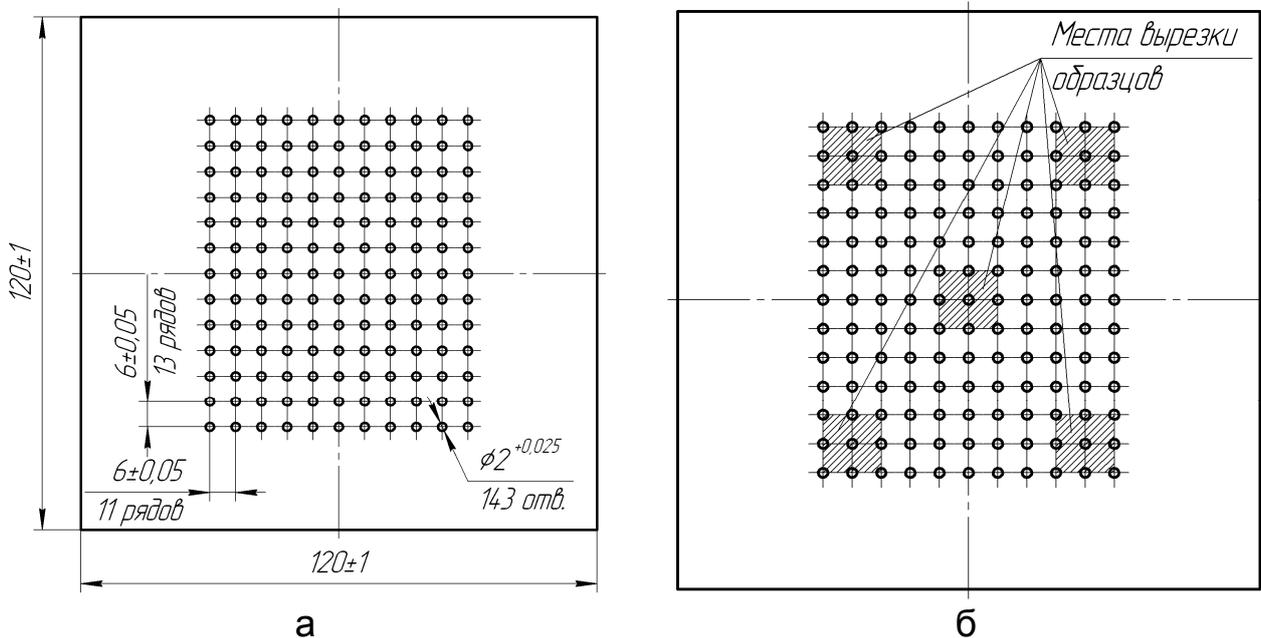


Рисунок 3 – Схемы образцов для определения геометрических параметров перфорированных отверстий:

а – образец для определения размерной точности и точности расположения отверстий; б – образец для определения точности формы отверстий

Диаграммы растяжения исследуемых материалов получены на разрывной машине Р-5 (испытания проводились согласно методике, указанной в ГОСТ 1497-84, с использованием пропорциональных плоских образцов типа 1 (приложение 3 ГОСТ 1497-84)). При этом получены значения следующих физико-механических свойств алюминиевого сплава Д16АМ:

– предел прочности $\sigma_B$ , МПа	186
– предел текучести $\sigma_T$ , МПа	76
– относительное удлинение $\delta$ , %	26,5
– относительное сужение $\psi$ , %	15

Значения основных физико-механических свойств алюминиевого сплава АМг2М:

– предел прочности $\sigma_B$ , МПа	206
– предел текучести $\sigma_T$ , МПа	90
– относительное удлинение $\delta$ , %	40
– относительное сужение $\psi$ , %	25

Значения основных физико-механических свойств стали 08кп:

– предел прочности $\sigma_B$ , МПа	390
– предел текучести $\sigma_T$ , МПа	250
– относительное удлинение $\delta$ , %	24
– относительное сужение $\psi$ , %	45

Для определения размерной точности перфорируемых отверстий подготовленный образец (рис. 3, а) помещался в рабочую зону микроскопа (рис. 2). Далее с помощью измерительных шкал микроскопа при увеличении  $\times 56$  определялись реальные значения диаметра отверстия (рис. 4, а).

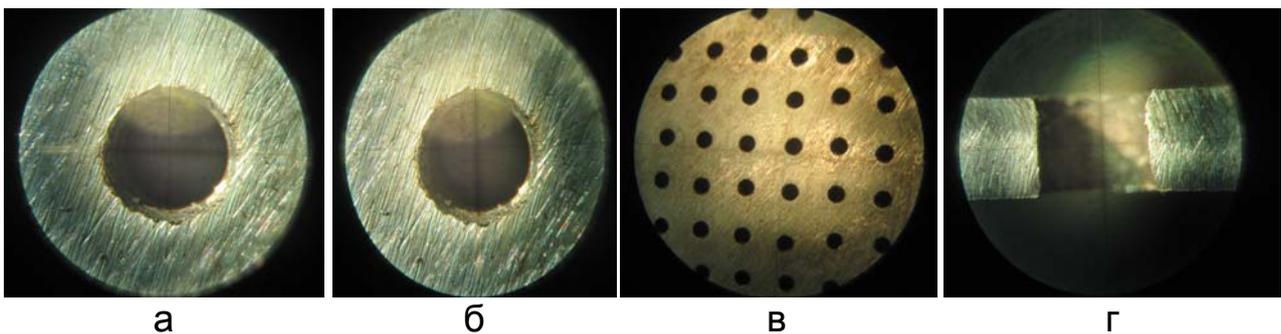


Рисунок 4 – Типовые картины измерений геометрических параметров перфорируемых отверстий:

- а – определение размерной точности отверстия; б – определение круглости отверстия; в – определение точности взаимного расположения отверстий; г – определение точности профиля продольного сечения отверстий

Следующим этапом при том же положении заготовки и неизменной настройке микроскопа (однако с помощью двух взаимно перпендикулярных шкал) выполнялось измерение точности формы отверстия (а именно его круглость) (рис. 4, б).

Точность взаимного расположения отверстий выполнялась при увеличении микроскопа  $\times 32$  с помощью двух взаимно перпендикулярных шкал. При этом определялось не только расстояние между отверстиями по осям, но и их взаимное смещение (рис. 4, в).

Точность профиля продольного сечения отверстий (конусообразность, бочкообразность и др.) определялись на образцах, показанных на рис. 3, б. Для этого полированная плоскость реза (торец образца) устанавливалась в поле зрения окуляра микроскопа и при увеличении  $\times 56$  с помощью двух взаимно перпендикулярных шкал выполнялись измерения (рис. 4, г).

На точность расположения отверстий в детали влияет только точность расположения пуансонов в матрице (т.е. качество изготовления матрицы), поэтому данный параметр точности не зависит от выбора параметров процесса штамповки.

Однако при близком расположении пуансонов при одновременном влиянии неравномерности поля нагружения возможно смещение центров отверстий относительно номинального положения за счет неравномерного и неодновременного деформирования материала листовой детали при внедрении пуансонов, а также за счет сил упругого отжатия при съеме детали.

Измерение точности взаимного расположения отверстий выполнялось на образцах (рис. 3, а) различной толщины на микроскопе (рис. 2), при этом предварительно измерялись межцентровые расстояния пуансонов.

В табл. 1 указаны обеспечиваемые параметры точности взаимного расположения отверстий в зависимости от толщины заготовки.

Таблица 1 – Обеспечиваемая точность взаимного расположения отверстий, мм

Толщина заготовки	Максимальные отклонения	Среднее отклонение
0,50	0,111	0,094
0,65	0,074	0,062
1,36	0,046	0,040
2,00	0,028	0,024

Как видим, максимальные отклонения межцентровых расстояний перфорируемых отверстий от их номинального положения наблюдаются для более тонких заготовок, что связано с их меньшей жесткостью, а следовательно, большей восприимчивостью к неравномерному

деформированию во время штамповки и влиянию сил отжатия при съеме детали.

Измерение точности отверстий выполнялось на образцах (рис. 3, а) различной толщины на микроскопе (рис. 2), при этом предварительно измерялись диаметры пуансонов.

На рис. 5 показана зависимость точности отверстия от его диаметра для исследуемых материалов.

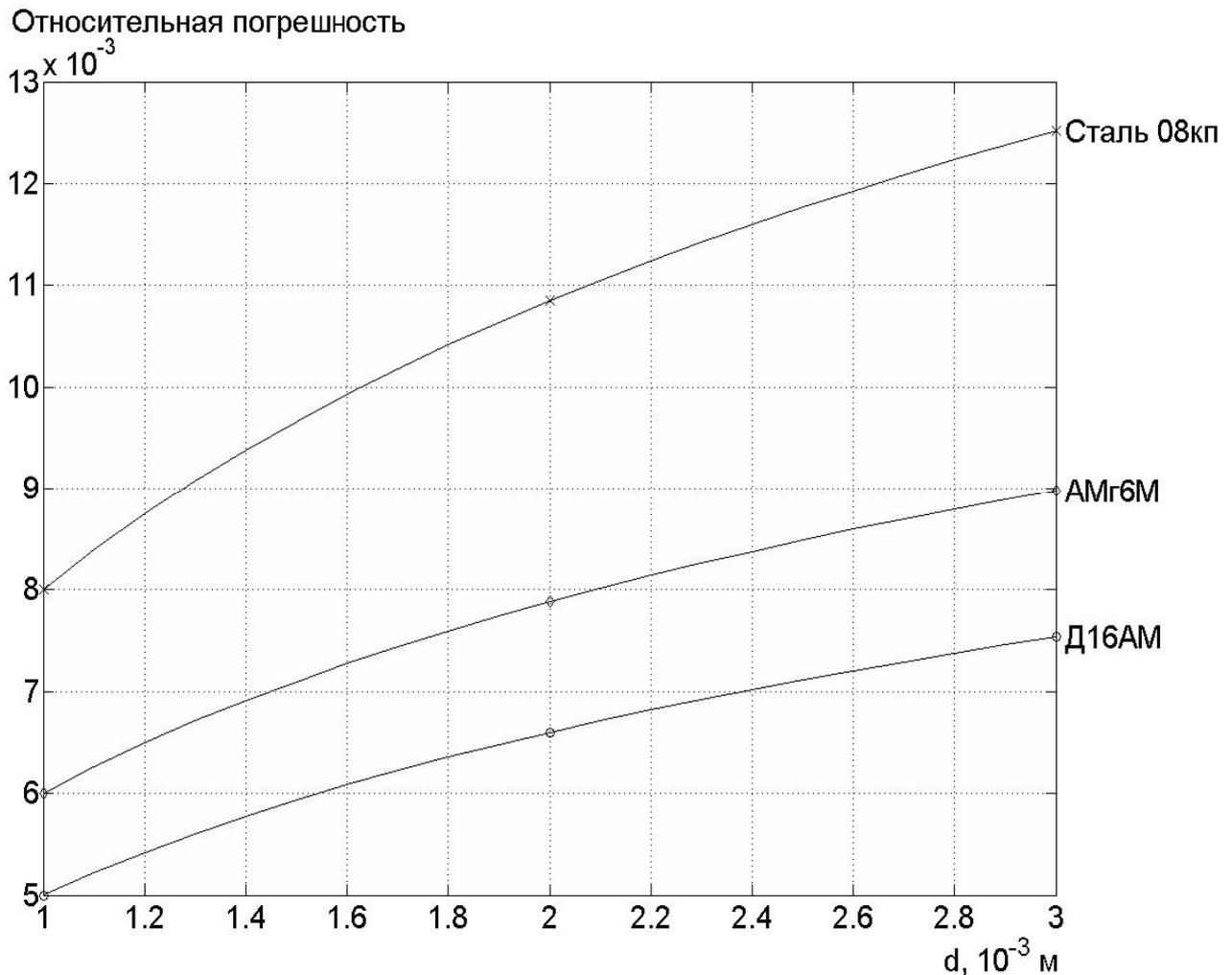


Рисунок 5 – Зависимость точности отверстия от его диаметра

Точность перфорируемых «на пуансон» отверстий зависит, в основном, от точности пуансонов и их износа. Однако, как видно из рис. 5, некоторое влияние имеет пластичность перфорируемого материала. Так, при перфорировании менее пластичных материалов точность отверстия выше. Данная особенность связана с большей жесткостью непластичных материалов.

На рис. 6 представлены графики зависимости круглости отверстий от толщины перфорируемого материала.

На круглость отверстий в основном влияют способ и качество съема детали с пуансонов (поскольку при штамповке возникает распор

материала и для съема необходимо приложить значительные усилия). Поэтому при неправильном выборе точек приложения усилия для съема детали возникает возможность смятия отверстия и, соответственно, изменения его геометрических характеристик, а следовательно, возникновения брака.

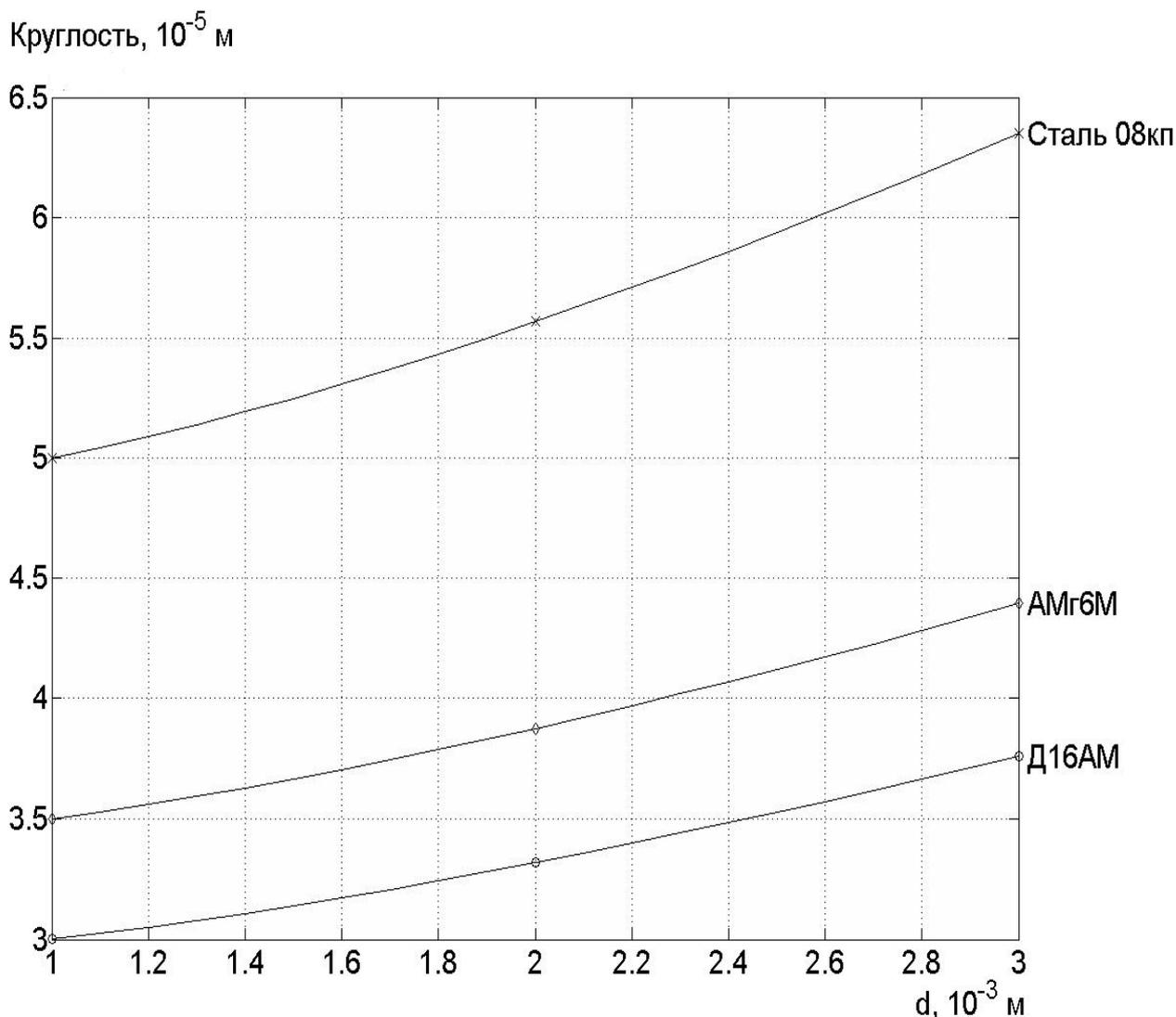


Рисунок 6 – Графики зависимости круглости отверстий от толщины перфорируемого материала.

Также на круглость перфорируемых отверстий оказывают влияние местоположение отверстия в группе и равномерность поля нагружения. Так, если отверстие расположено в центре группы отверстий, то деформирующее усилие при равномерном поле нагружения со всех сторон одинаково, что позволяет изготовить круглое отверстие. В случае же расположения отверстия на краю группы данное усилие неравномерно, что в случае мягких и пластичных материалов может привести к возникновению некруглости отверстия.

На рис. 7 приведены графики зависимости погрешности профиля продольного сечения отверстий от толщины перфорируемого материала.

Анализ графиков (рис. 7) показывает, что на погрешность профиля продольного сечения отверстий зависит от толщины материала и от его предела прочности.

Шероховатость отверстий прямо зависит от величины зерна перфорируемых материалов, т.е. мелкозернистые материалы дают поверхность с малой шероховатостью, а крупнозернистые – наоборот. Тем не менее шероховатость перфорированных отверстий не превышает  $Ra = 5$  мкм.

Таким образом, выполненные измерения позволили определить в численном выражении параметры качества перфорированных «на пуансон» отверстий.

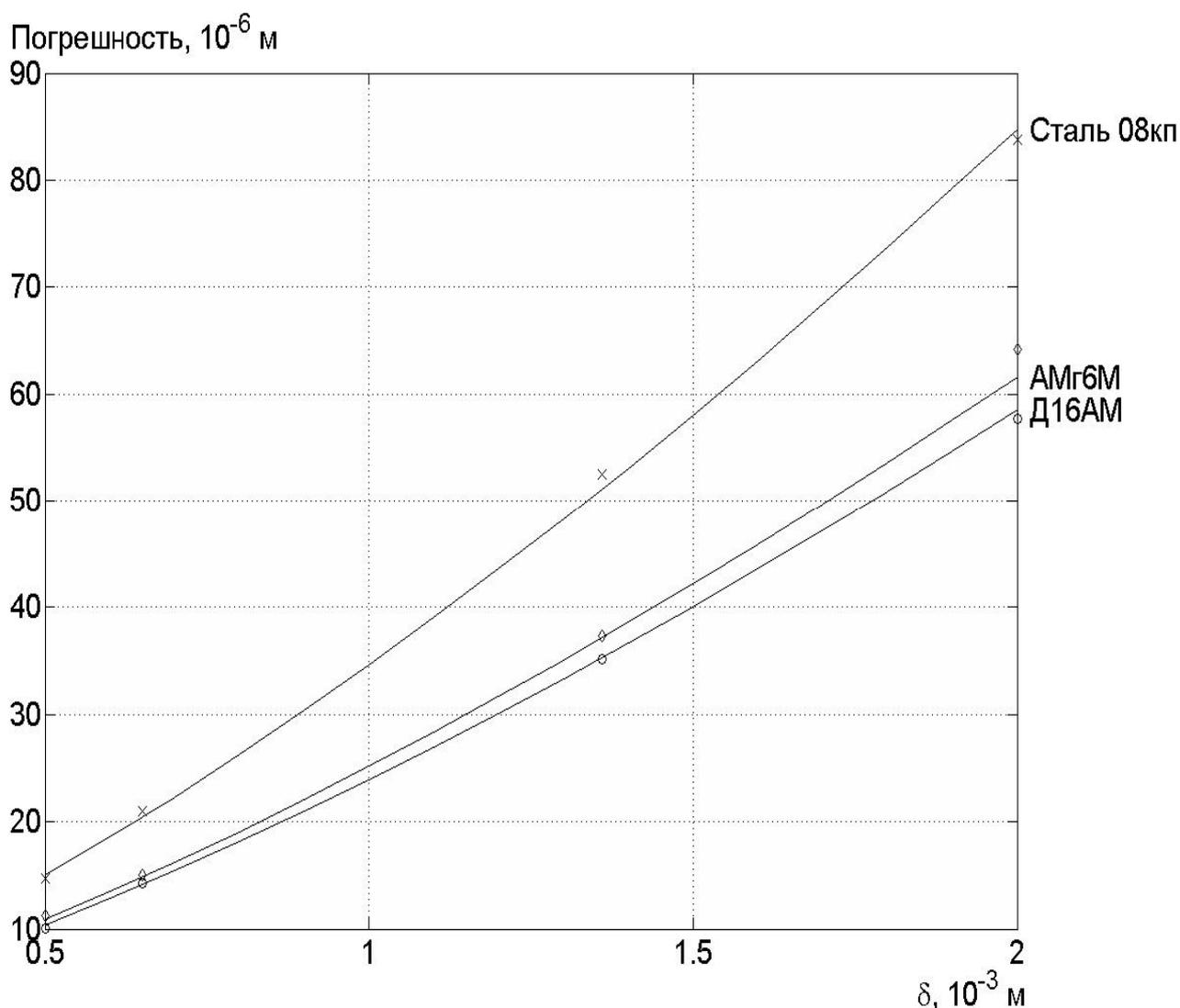


Рисунок 7 – Графики зависимости погрешности профиля продольного сечения отверстий от толщины перфорируемого материала.

При этом основное влияние на точность оказывают геометрические параметры перфорируемых отверстий и физико-механические параметры перфорируемых материалов, в то время как на шероховатость отверстия влияет микроструктура материала.

### Выводы

1. Определена область применения электрогидравлического перфорирования отверстий с использованием вспомогательных пуансонов.

2. Предложена схема экспериментов и выбраны экспериментальные образцы из различных материалов для определения качества перфорируемых отверстий.

3. Выполнены экспериментальные исследования по определению геометрических параметров качества перфорированных отверстий (размерной точности, точности взаимного расположения, круглости, профиля продольного сечения).

4. Определены основные причины возникновения указанных погрешностей.

### Список использованных источников

1. Современные технологии авиастроения [Текст] / А. Г. Братухин, Ю. Л. Иванов, В. И. Марьин и др. ; под ред. А. Г. Братухина, Ю. Л. Иванова. – М. : Машиностроение, 1999. – 832 с.

2. Горбунов, М. Н. Основы технологии производства самолетов [Текст] / М. Н. Горбунов. – М. : Машиностроение, 1976. – 260 с.

3. Технология самолетостроения [Текст] / А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др. ; под ред. А. Л. Абибова. – М. : Машиностроение, 1982. – 551 с.

4. Жовноватюк, Я. С. Определение технологических режимов при вырубке отверстий способом электрогидроимпульсной штамповки [Текст] / Я. С. Жовноватюк // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2012. – № 7 (94). – С. 36-40.

*Поступила в редакцию 10.06.2015.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Ф. Сорокин,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*