

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДОРНОВАНИЯ И БАРЬЕРНОГО ОБЖАТИЯ ПОЛОСЫ С ОТВЕРСТИЕМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ЕЕ РАСТЯЖЕНИИ

В работах [1, 2] отдельно проанализировано влияние величины радиального натяга при дорновании и барьерного обжатия полосы с отверстием на характеристики локального напряженно-деформированного состояния при ее растяжении с учетом технологических отклонений.

Целью данной работы является анализ влияния последовательного применения дорнования и барьерного обжатия полосы с отверстием на характеристики локального напряженно-деформированного состояния при ее растяжении.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- смоделировать процесс последовательного применения дорнования и барьерного обжатия полосы с отверстием;
- проанализировать характеристики напряженно-деформированного состояния полосы с отверстием при последовательном дорновании и барьерном обжатии;
- проконтролировать форму и размеры отверстия после последовательного дорнования и барьерного обжатия.

Геометрические размеры полосы с отверстием показаны на рис. 1. Толщина полосы – 5 мм. Материал полосы – алюминиевый сплав 1163. Диаметр цилиндрического пояска дорна 8,16 мм, величина радиального натяга при дорновании – 2%. Радиус рабочей части обжимки – 1 мм, обжимка расположена на расстоянии 7,5 мм от центра отверстия. Глубина обжатия – 0,3 мм.

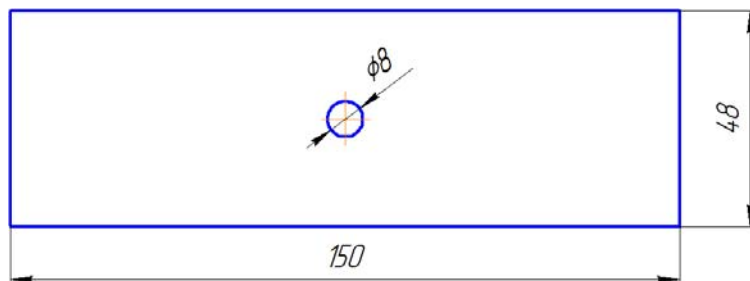


Рисунок 1 – Полоса с отверстием

Величина растягивающих напряжений в сечении брутто составляет 0, 50, 100, 130, 150 и 200 МПа.

С учетом геометрической симметрии модели и характера нагружения при моделировании рассмотрена 1/4 конструкции с заданием соответствующих условий симметрии. Обжимку и дорн моделировали как абсолютно жесткие тела. В работе смоделировано одновременное обжатие верхней и нижней поверхностей пластины. При этом заданы следующие граничные условия: условия симметрии и ограничение перемещений вдоль оси Z для всех узлов, расположенных на нейтральной линии в сечении $x=0$. При моделировании процесса дорнования для ограничения перемещений вдоль оси Z выполнено закрепление всех узлов в зоне отверстия, расположенных по нижней поверхности внутри кольца с радиусами 6 и 24 мм соответственно.

Расчетная схема полосы с отверстием при ее растяжении показана на рис. 2.

В качестве параметров, характеризующих локальное НДС полосы с отверстием, рассмотрены следующие: максимальные главные растягивающие напряжения эквивалентного отнулевого цикла (σ_{1max0}), упругая составляющая максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла (ε_{1max0}) и удельная энергия деформирования (w_{1max0}).

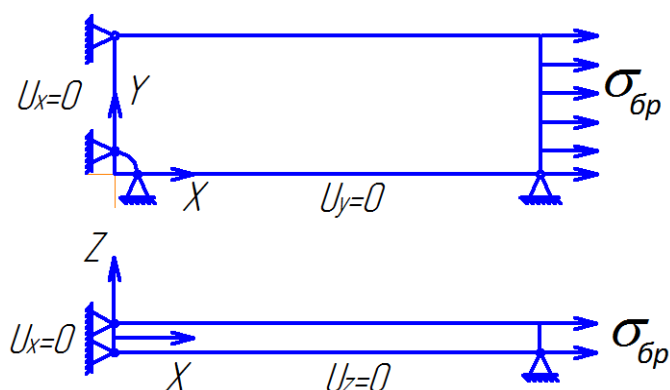


Рисунок 2 – Расчетная схема полосы с отверстием

Эти параметры определены численным методом с помощью метода конечных элементов, реализованного в системе ANSYS.

Для аппроксимации расчетной модели пластины выбраны 8-узловые элементы твердого деформируемого тела, обладающие тремя степенями свободы в каждом из узлов [3]. Контактное взаимодействие дорна со стенкой отверстия и обжимки с соответствующими поверхностями пластины описано общей моделью контакта типа «поверхность–поверхность» с применением кулоновской модели трения [4]. Значение коэффициентов трения скольжения для пары «сталь–алюминий» при дорновании принято равным 0,15, а при сегментном обжатии – 0,6 [5].

Конечно-элементные модели пластины, дорна и обжимки показаны на рис. 3.

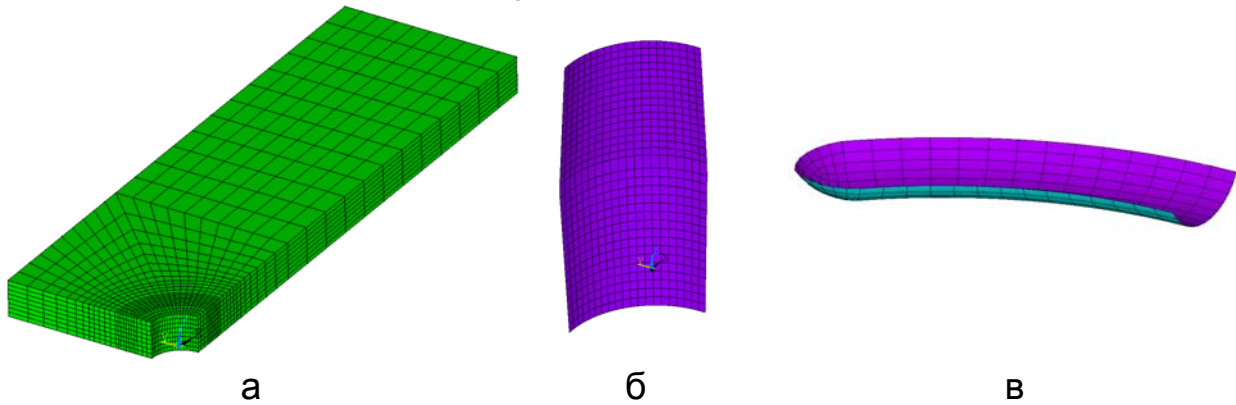


Рисунок 3 – Конечно-элементные модели:
а – пластины; б – дорна; в – обжимки

В результате решения задачи контактного взаимодействия полосы с технологическим инструментом рассчитаны параметры предварительного локального НДС в полосе в зоне отверстия и обжатия.

Проведен контроль формы и размеров отверстия после последовательного применения дорнования и барьерного обжатия, а также сравнительный анализ изменения размеров отверстия по толщине пластины (рис. 4).

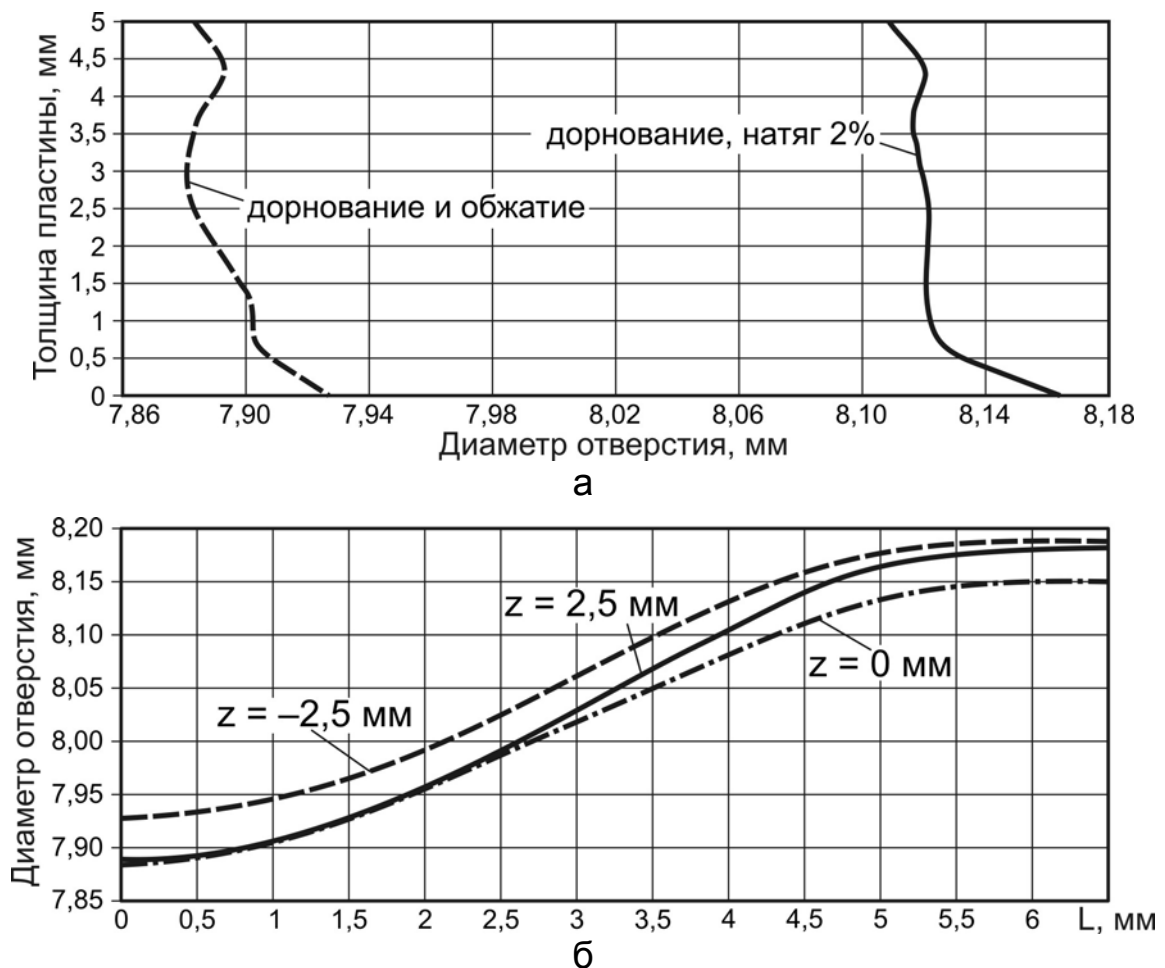


Рисунок 4 – Влияние дорнования и барьерного обжатия на изменение диаметра отверстия: а – по толщине пластины; б – по дуге окружности

Измерения выполнены в трех сечениях: по верхней ($z = 2,5$ мм) и нижней ($z = -2,5$ мм) поверхностям, а также серединной ($z=0$). При отображении результатов по дуге окружности (см. рис. 4, б) в качестве начала отсчета выбрана точка с координатами $x=8$ мм, $y=0$ мм.

На рис. 5 показан сравнительный характер распределения главных растягивающих напряжений в пластине с отверстием, обработанной в зоне отверстия дорнованием и барьерным обжатием, при действии растягивающих напряжений.

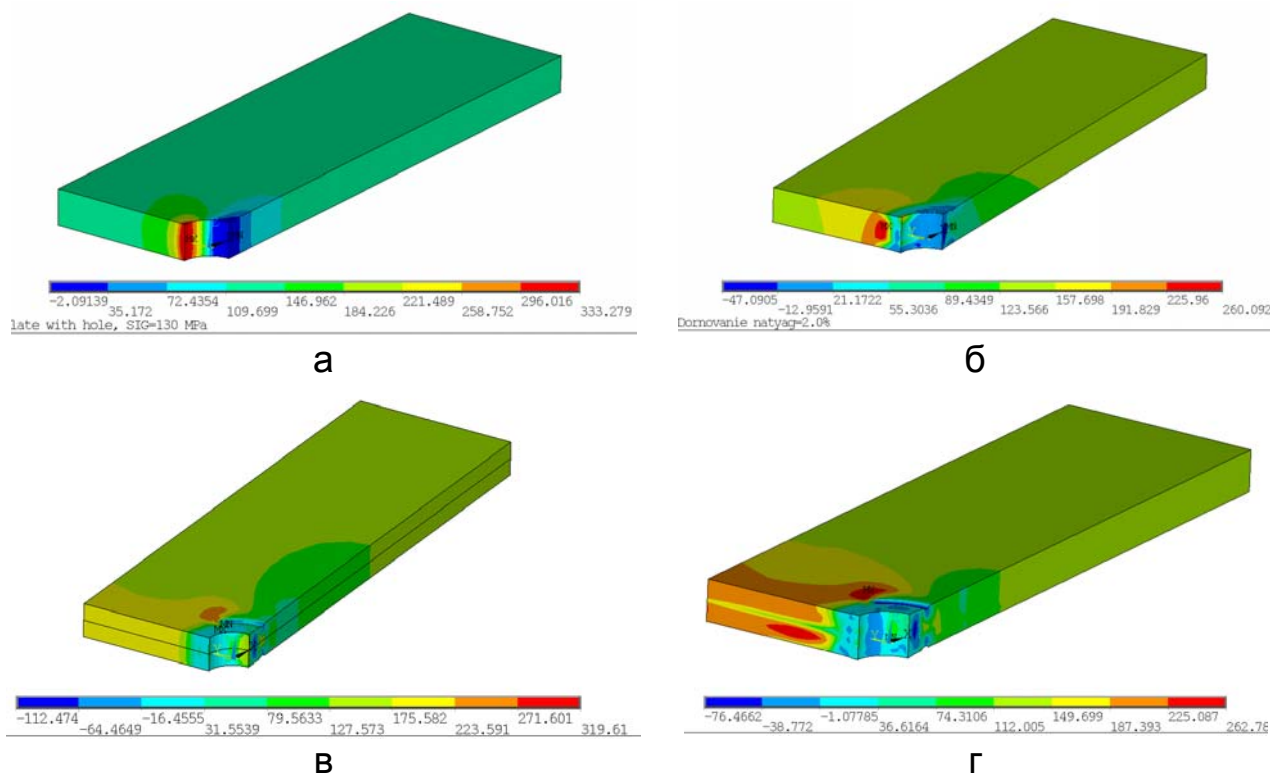


Рисунок 5 – Характер распределения главных растягивающих напряжений в пластине с отверстием: а – без предварительной обработки; б – после дорнования с натягом 2%; в – после обжатия на глубину 0,3 мм; г – после дорнования с натягом 2% и обжатие на глубину 0,3 мм

В результате решения поставленной задачи получены кривые распределения параметров НДС в сечении по оси отверстия и в зоне обжатия для растянутой полосы с учетом предварительного применения дорнования и барьерного обжатия (рис. 6 – 14). На рис. 6 – 14 цифрами обозначены: 1 – пластина с отверстием; 2 – пластина с отверстием, обработанная в зоне отверстия дорнованием с натягом 2%; 3 – пластина с отверстием, обработанная в зоне отверстия обжатием на глубину 0,3 мм; 4 – пластина с отверстием, обработанная в зоне отверстия дорнованием и обжатием.

Проведено сравнение полученного результата с результатами для растянутой полосы с учетом отдельного применения дорнования и барьерного обжатия.

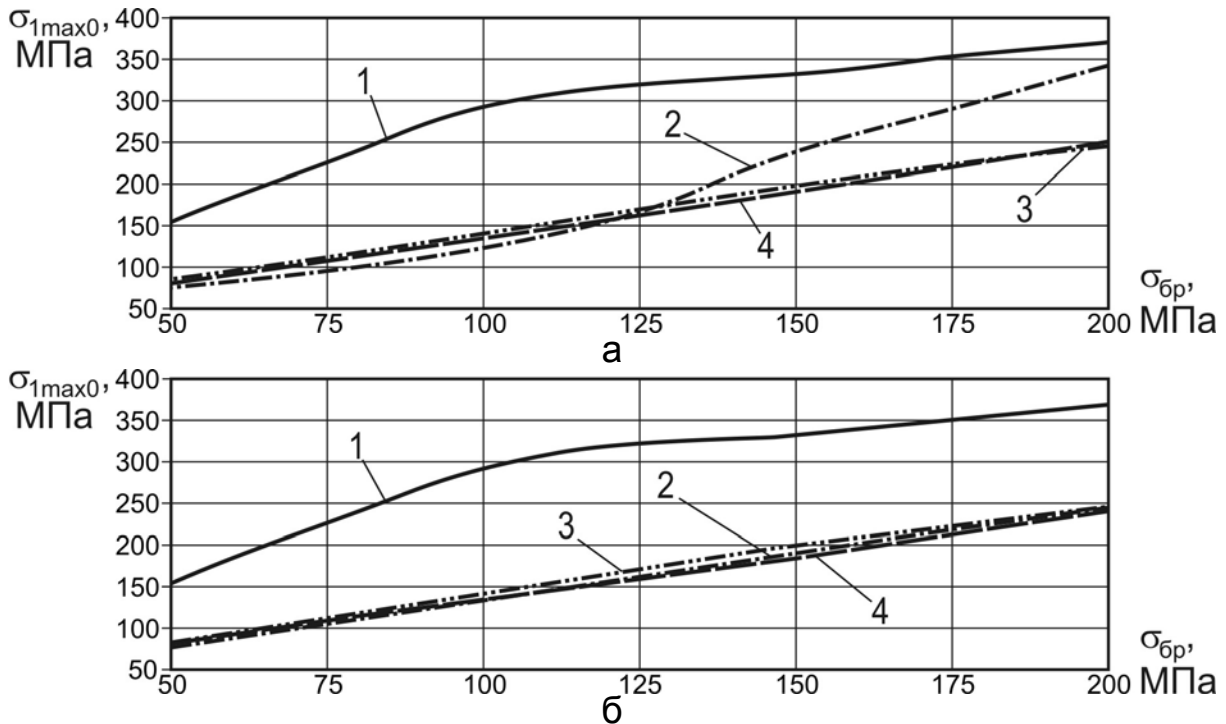


Рисунок 6 – Влияние уровня нагружения и метода предварительной обработки пластины в зоне отверстия на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: а – в сечении по оси отверстия ($z = 2,5$ мм); б – в сечении по оси отверстия ($z = -2,5$ мм)

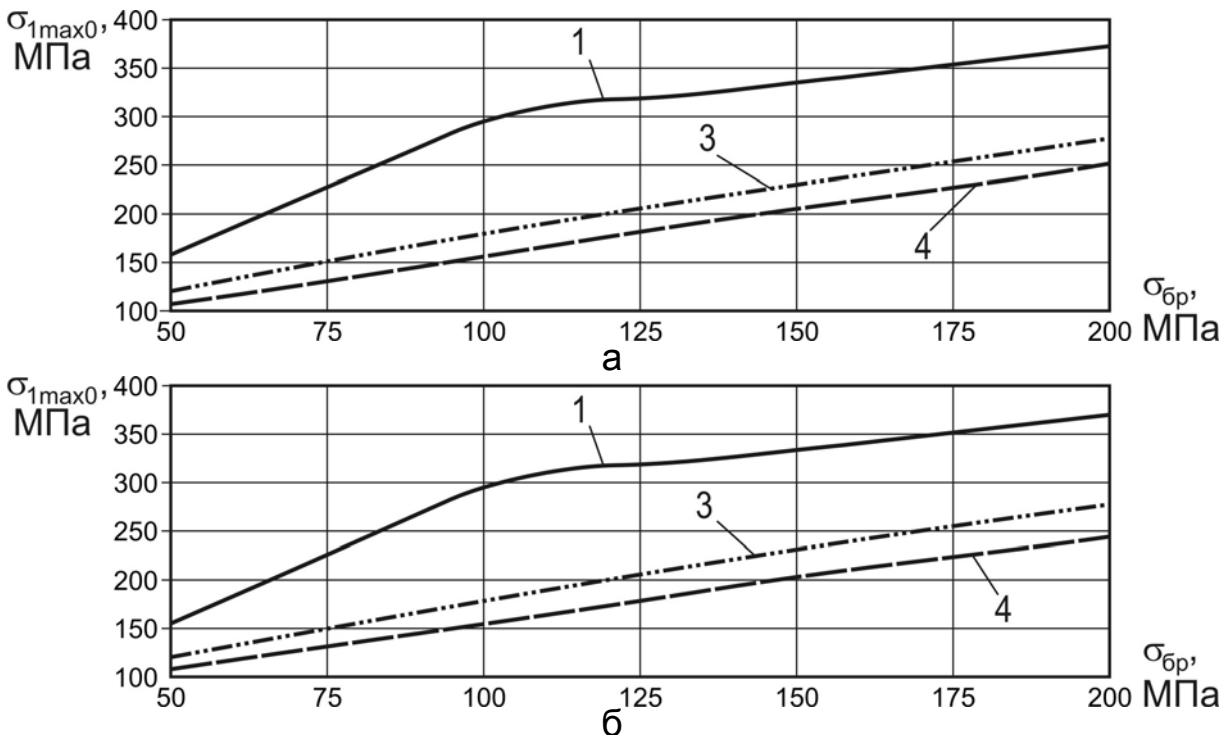


Рисунок 7 – Влияние уровня нагружения и метода предварительной обработки пластины в зоне отверстия на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: а – в зоне обжатия ($z = 2,5$ мм); б – в зоне обжатия ($z = -2,5$ мм)

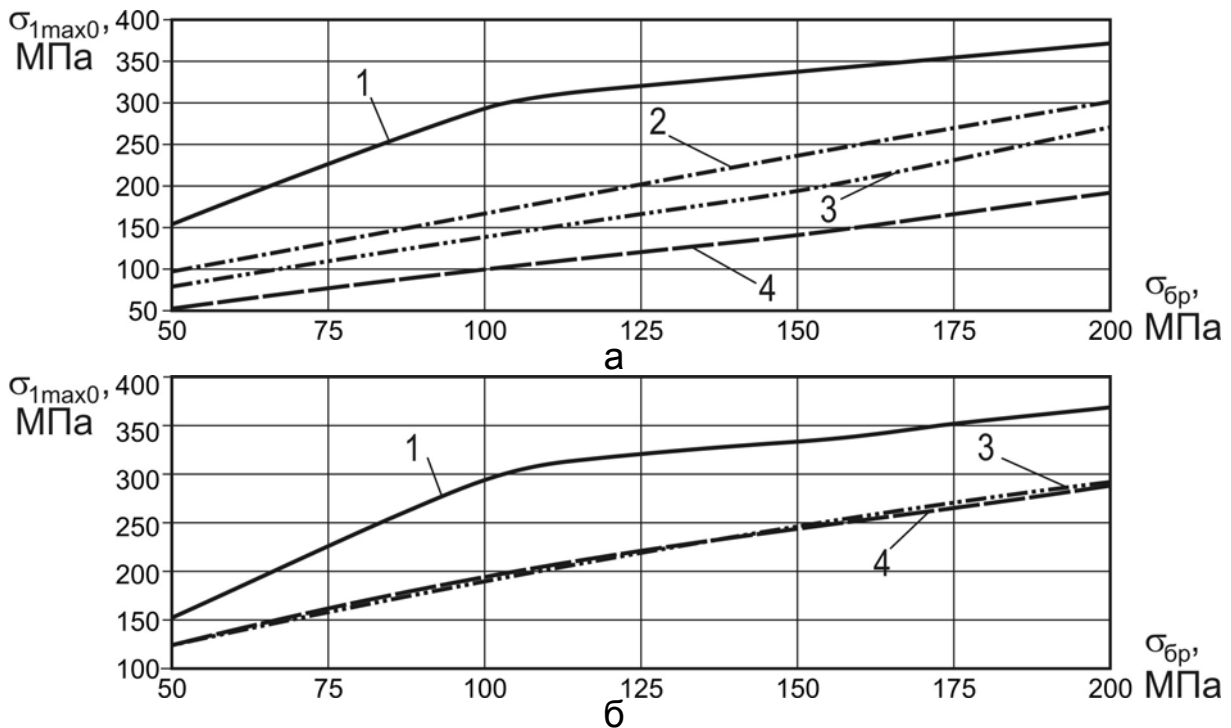


Рисунок 8 – Влияние уровня нагружения и метода предварительной обработки пластины в зоне отверстия на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием:

а – в сечении по оси отверстия ($z = 0$ мм); б – в зоне обжатия ($z = 0$ мм)

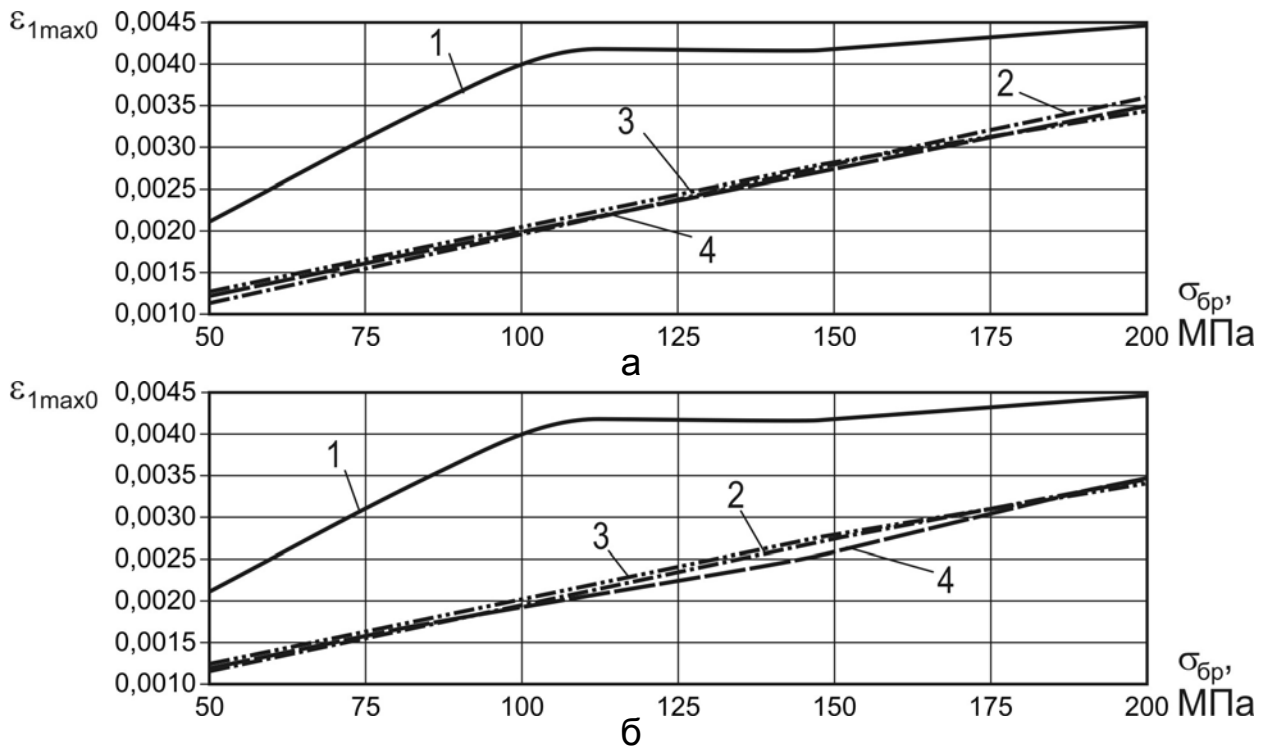


Рисунок 9 – Влияние уровня нагружения и метода предварительной обработки пластины в зоне отверстия на изменение максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: а – в сечении по оси отверстия ($z = 2,5$ мм); б – в сечении по оси отверстия ($z = -2,5$ мм)

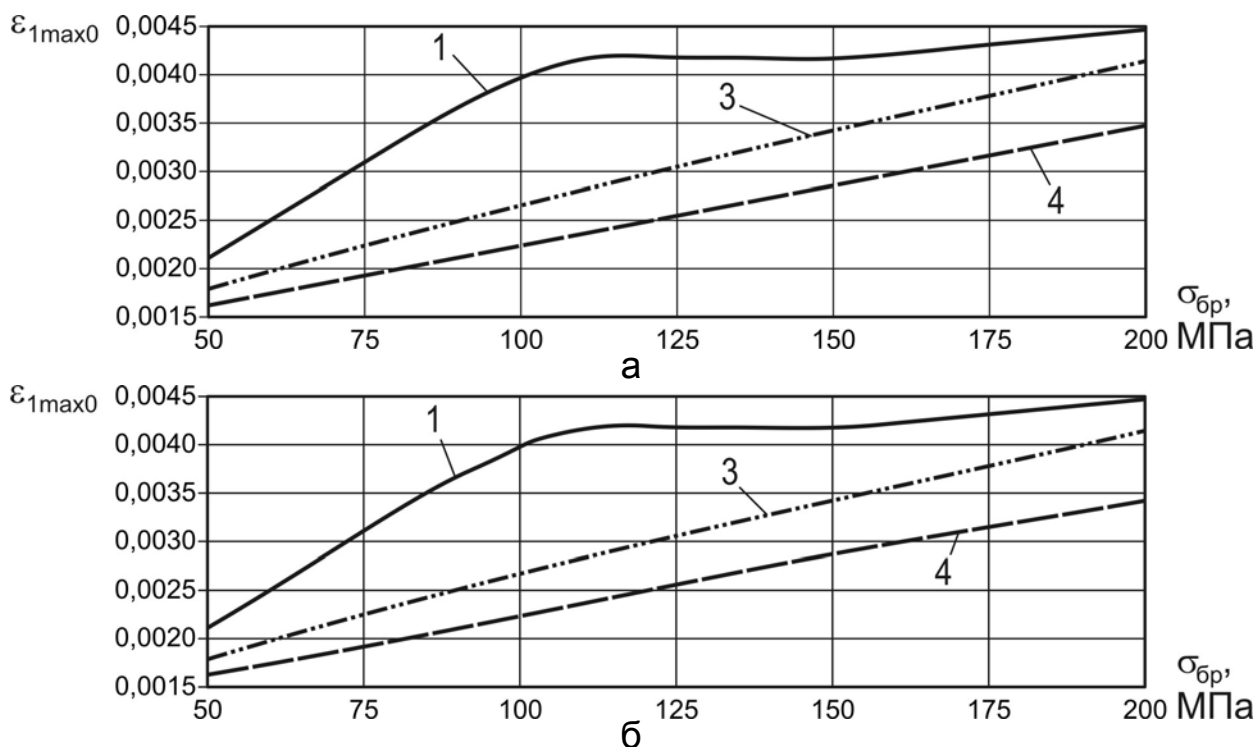


Рисунок 10 – Влияние уровня нагружения и метода предварительной обработки пластины в зоне отверстия на изменение максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием:

а – в зоне обжатия ($z = 2,5$ мм); б – в зоне обжатия ($z = -2,5$ мм)

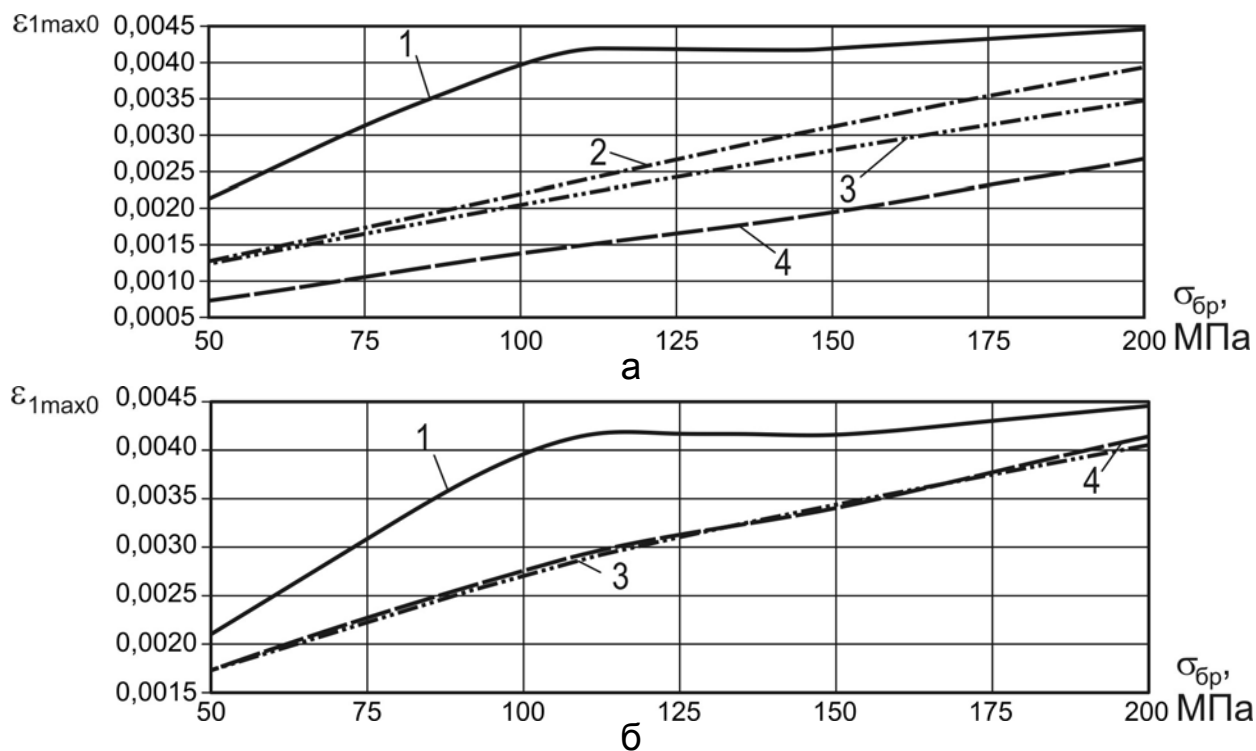


Рисунок 11 – Влияние уровня нагружения и метода предварительной обработки пластины в зоне отверстия на изменение максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием:

а – в сечении по оси отверстия ($z = 0$ мм); б – в зоне обжатия ($z = 0$ мм)

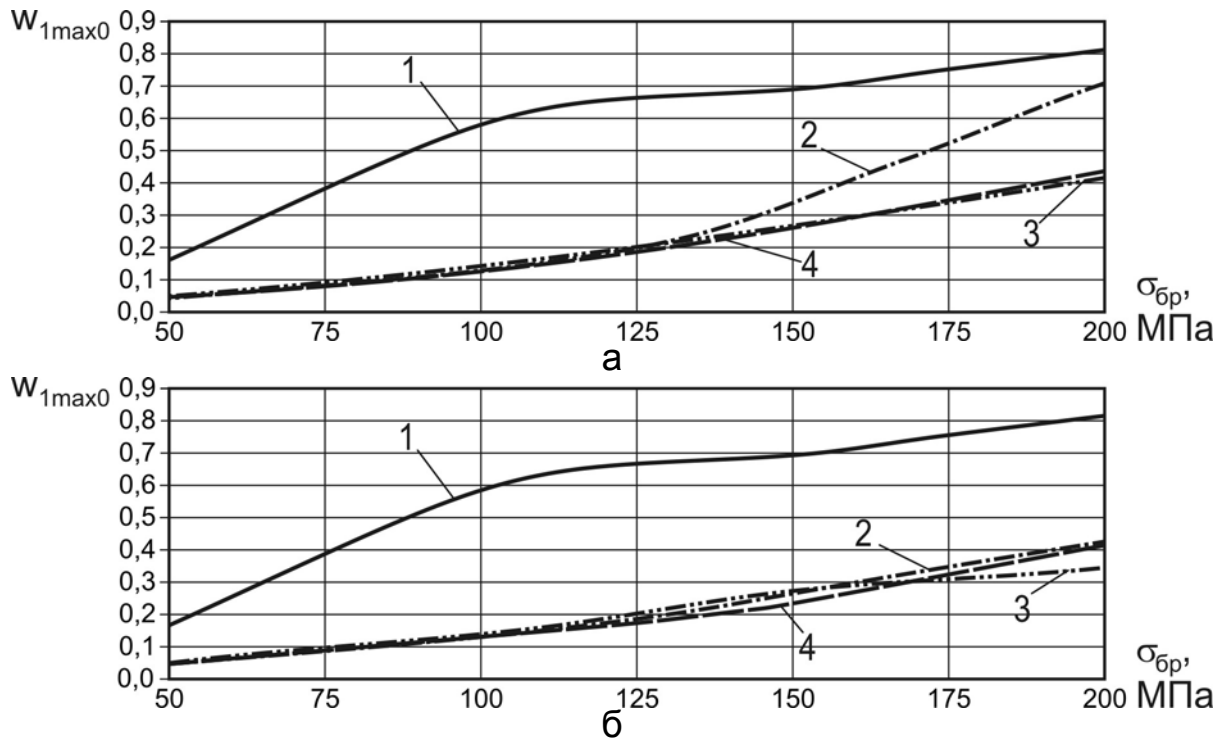


Рисунок 12 – Влияние уровня нагружения и метода предварительной обработки пластины в зоне отверстия на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: а – в сечении по оси отверстия ($z = 2,5$ мм); б – в сечении по оси отверстия ($z = -2,5$ мм)

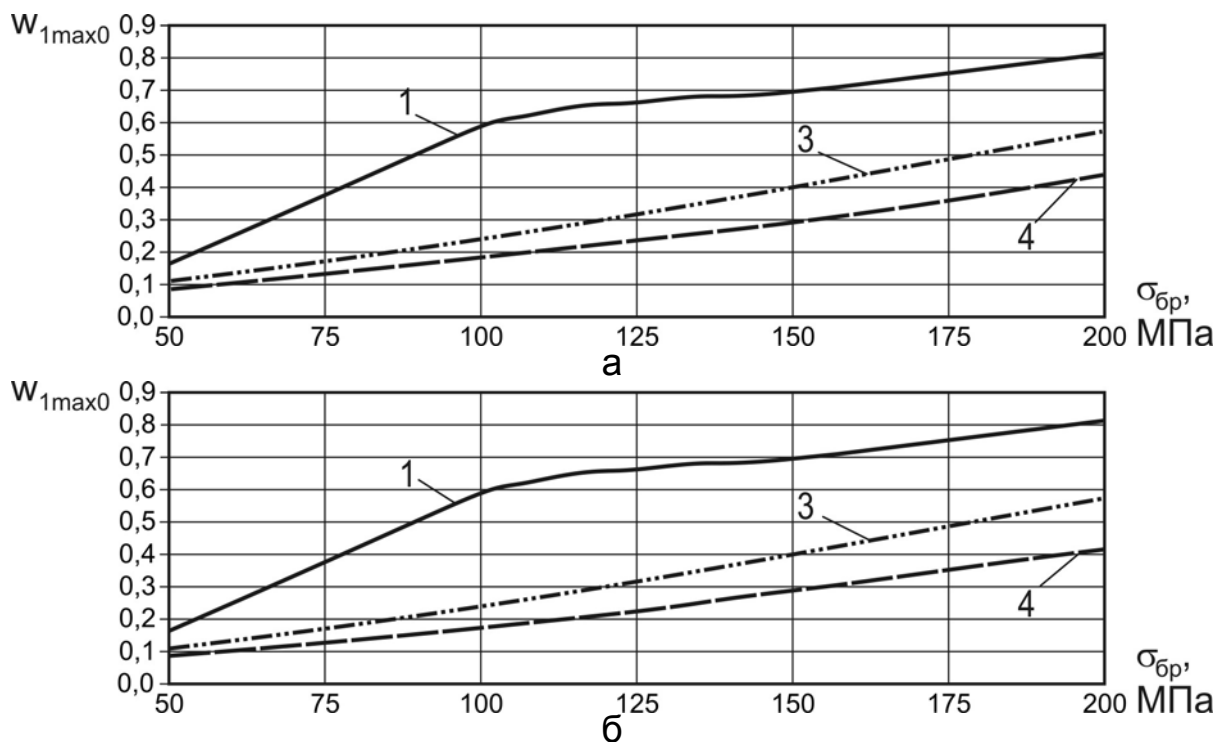


Рисунок 13 – Влияние уровня нагружения и метода предварительной обработки пластины в зоне отверстия на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: а – в зоне обжатия ($z = 2,5$ мм); б – в зоне обжатия ($z = -2,5$ мм)

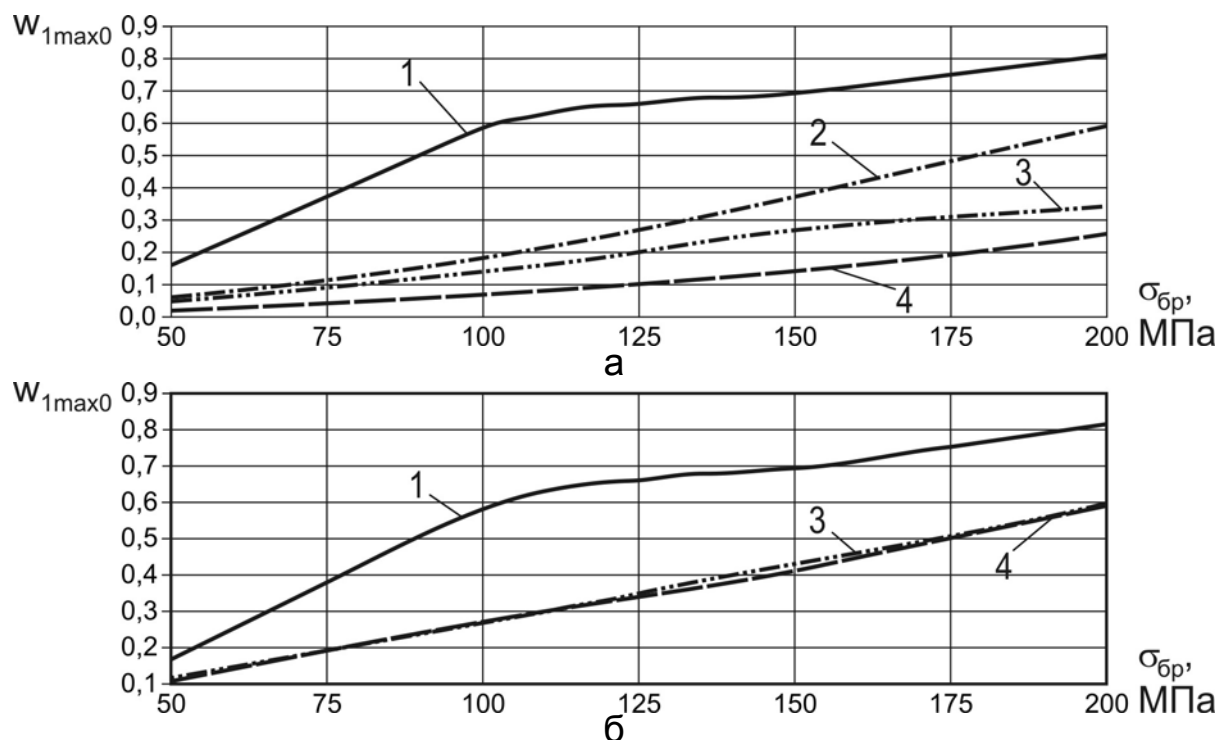


Рисунок 14 – Влияние уровня нагружения и метода предварительной обработки пластины в зоне отверстия на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: а – в сечении по оси отверстия ($z = 0$ мм); б – в зоне обжатия ($z = 0$ мм)

Смоделирован процесс последовательного применения дорнования и барьерного обжатия полосы с отверстием, определены характеристики локального НДС, проведено сравнение полученного результата с результатом для полосы с отверстием.

Выводы

1. Установлено, что последовательное применение дорнования стенок отверстия с натягом 2% и барьерного обжатия на глубину 0,3 мм приводит к изменению формы и размеров отверстия. При этом максимальная величина неравномерности диаметра отверстия по высоте составляет 0,046 мм, диаметр отверстия уменьшился на 0,12 мм по сравнению с начальным значением (8 мм). Кроме того, наблюдается овализация отверстия.

2. Показано, что для пластины с отверстием в диапазоне значений напряжений в сечении брутто от 100 до 200 МПа последовательное применение дорнования стенок отверстия с радиальным натягом 2% и обжатия на глубину 0,3 мм способствуют уменьшению максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в 1,48 – 2,97 раза по сравнению с максимальными главными напряжениями в полосе со свободным отверстием. При этом величины максималь-

ных главных растягивающих деформаций и максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла уменьшаются в 1,3 – 2,94 раза и в 1,95 – 4,8 раза соответственно.

Список использованных источников

1. Семенцов, В. Ф. Влияние величины радиального натяга при дорновании и уровня нагружения при растяжении на характеристики локального напряженно–деформированного состояния полосы с отверстием [Текст] / В. Ф. Семенцов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – 2015. – № 67. – С. 123 – 134.

2. Семенцов, В. Ф. Влияние барьерного обжатия на характеристики локального НДС полосы с отверстием при ее растяжении [Текст] / В. Ф. Семенцов, Е. Т. Василевский // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – 2015. – № 68. – С. 23 –34.

3. ANSYS Element Guide. Chapter 3. Element References. Section 3.1. Element Library.001087. 4th Edition. SAS IP[©].

4. ANSYS Contact Technology Guide. Chapter 3. Surface-to-Surface Contact. 001087. 4th Edition. SAS IP[©].

5. Эксплуатация, обслуживание, ремонт, надежность [Текст] / Авиационный технический справочник; под общ. ред. В. Г. Александрова. – М.: Транспорт, 1969. – 412 с.

Поступила в редакцию 14.09.2015.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Г. Гребеников,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*