

УДК 629.735.33.02.002:669.71

Ю.А. Воробьев, канд. техн. наук,
В.В. Воронько, канд. техн. наук,
О.В. Шипуль, канд. техн. наук

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОРНОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ

Основной технологической задачей, возникающей при внедрении новых технологий, является поиск рациональных параметров технологического процесса и средств технологического оснащения, исходя из требований обеспечения заданного качества, минимальной трудоемкости и стоимости. Наряду с теоретическими расчетами, численным моделированием экспериментальные исследования остаются определяющим фактором при выборе этих параметров. Для получения более полной и достоверной картины проводят, как правило, полнофакторный эксперимент.

Целью работы является определение рациональной технологии упрочнения отверстий авиационных конструкций скоростным (импульсным) дорнованием.

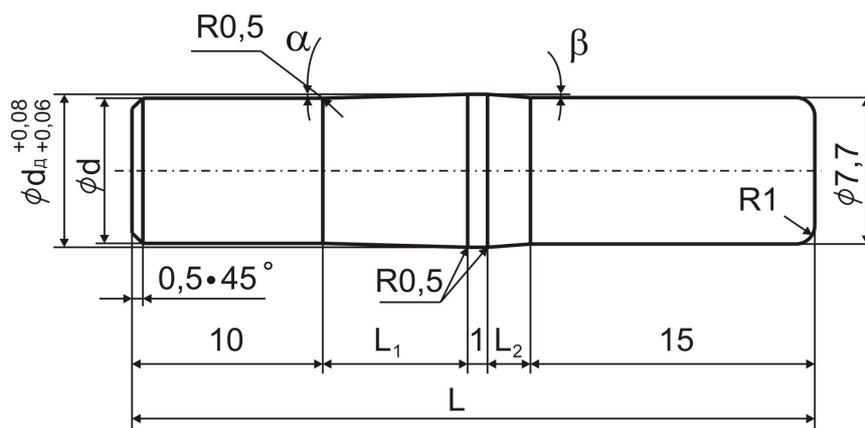
1. План и порядок проведения полнофакторного эксперимента по дорнованию отверстий

Исходя из результатов поисковых опытов и анализа литературы, при планировании полнофакторного эксперимента переменными факторами были выбраны [1]:

- 1) скорость дорнования: 20 м/с – для скоростного (импульсного) и 0,0045 м/с – для квазистатического (прессового) способов;
- 2) величина натяга: 2,4% и 3,6%;
- 3) передний угол α : 1,5° и 3°;
- 4) задний угол: β : 3° и 5°.

Анализ конструкции современных пассажирских самолетов показывает, что большинство высоконагруженных болтовых соединений образовано болтами диаметром более 8 мм. Для исследований были выбраны образцы с минимальным диаметром отверстия, равным 8 мм, для минимизации энергетических затрат на упрочнение. С той же целью толщина дорнуемого образца была принята равной диаметру болта.

Упрочнение выполняли дорнами, которые были разработаны согласно ПИ-6843 [2] (рис. 1). Для исследования влияния конструкции дорна на геометрические параметры упрочненного отверстия (натяг, корсетность, овальность, качество поверхности и др.) варьировались углы α , β и как следствие – линейные размеры l_1 и l_2 .



№ п/п	L	α , град	β , град	L_1	L_2
1	39,17	1,5	3	8,78	4,39
2	37,41	1,5	5	8,78	2,63
3	34,78	3	3	4,39	4,39
4	33,02	3	5	4,39	2,63

Рисунок 1 – Геометрические параметры дорна

Отверстия получали в три перехода в соответствии с рекомендациями отраслевых нормативных документов [2, 3]:

- 1) сверление сверлом $\text{Ø} 6_{-0,1}$ мм;
- 2) рассверливание сверлом $\text{Ø} 7,84_{-0,02}$ мм.
- 3) развертывание спиральными развертками $\text{Ø} 7,85\text{H}7$ мм или $\text{Ø} 7,95\text{H}7$ мм (для получения двух заданных значений натягов).

Дорнование отверстий выполняли на прессе КП-204 и пневмоимпульсным молотком мод. МПИ-90М (рис. 2).

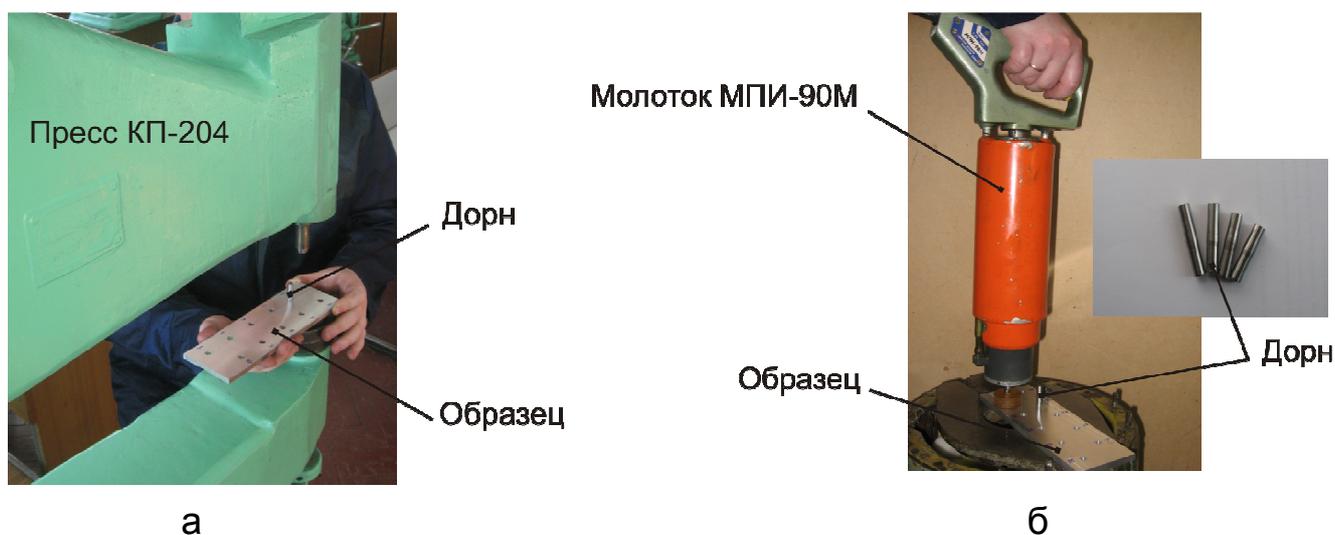


Рисунок 2 – Дорнование экспериментальных образцов: а – на прессе КП-204; б – пневмоимпульсным молотком мод. МПИ-90М

Планирование эксперимента и обработка его результатов проводили с использованием статистических методов [4]. Для проверки достоверности результатов был принят критерий согласия при уровне значимости 5%. Все они оказались достоверными.

2. Анализ результатов экспериментальных исследований

Результаты эксперимента представлены в виде графиков на рисунке 3 - 5).

Замеряли и анализировали следующие параметры отверстий до и после дорнования.

1. Корсетность отверстия. Выполняли замеры с помощью индикаторного нутромера диаметров отверстий до и после дорнования в трех плоскостях на трех уровнях (значения по каждому уровню усредняли по замерам в различных плоскостях). Установлено, что при квазистатическом способе дорнования корсетность отверстий при различных значениях натяга и параметрах дорна больше на 10...20% корсетности отверстий при скоростном дорновании (рис. 3).

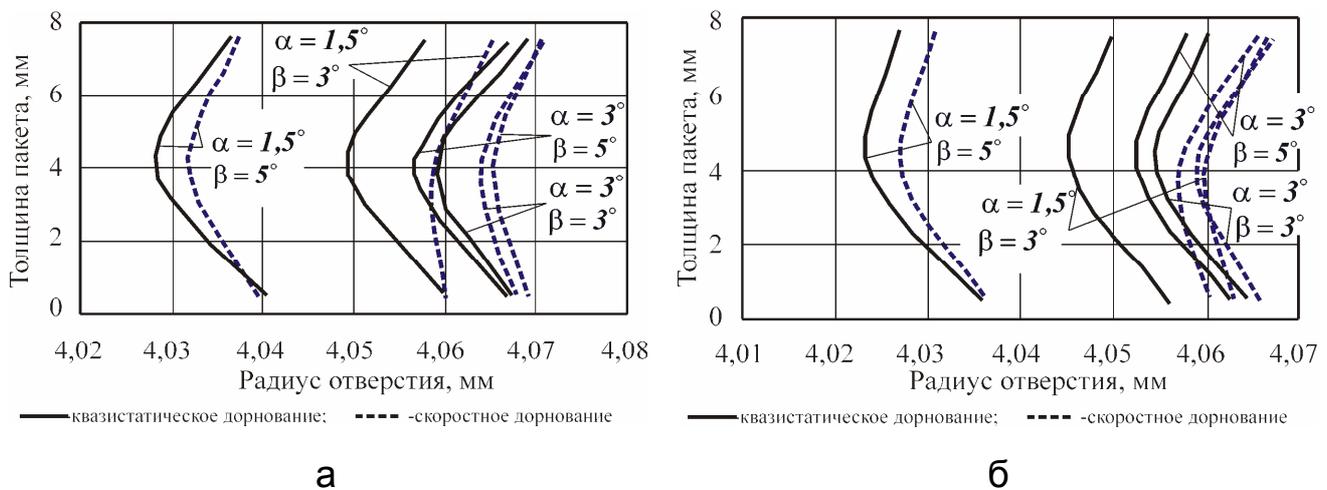


Рисунок 3 – Корсетность отверстий при квазистатическом и скоростном дорновании: а – при натяге 2,4%; б – при натяге 3,6%

2. Отклонение образующей отверстия. Установлено, что отклонение образующей после квазистатического дорнования больше на 1-2 качества точности, чем при скоростном дорновании (рис. 4).

3. Шероховатость поверхности отверстия. Для определения шероховатости отверстий до и после дорнования использовали профилограф-профилометр. Установлено (рис. 5), что шероховатость после квазистатического и скоростного дорнования при угле $\beta = 5^\circ$ находится в пределах $Ra\ 1,1...0,3$, а при $\beta = 3^\circ$ разброс значений шероховатости меньше – $Ra\ 0,6...0,3$ (по отраслевым нормативам шероховатость не должна превышать $Ra\ 0,63$).

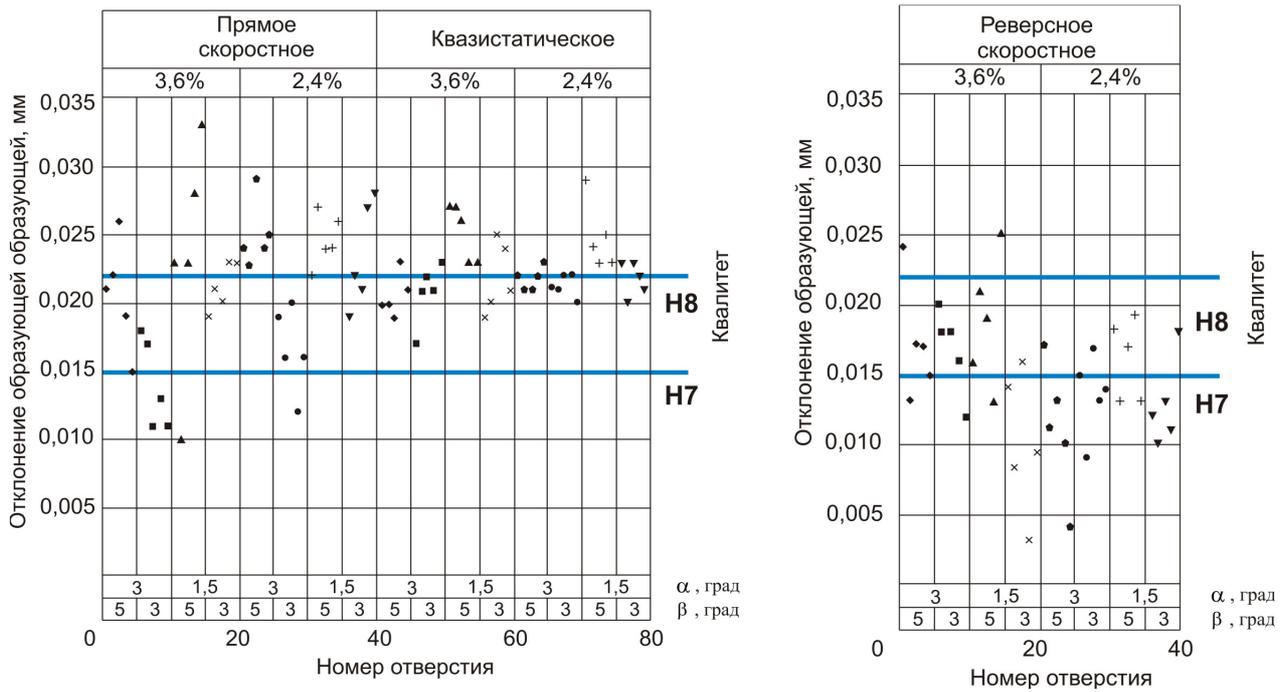


Рисунок 4 – Отклонение образующей отверстия при квазистатическом и скоростном дорновании



Рисунок 5 – Шероховатость отверстий до и после квазистатического и скоростного дорнования

3. Твердость, макро- и микроанализ структуры металла в зоне упрочнения

Для выявления линий деформации использовался реактив Келлера (35% HCl и 65% HNO₃) [5], который служит для выявления линий скольжения и деформации в закаленных и состаренных сплавах типа «алюминий – медь – магний».

Для выявления поверхности зерен алюминиевых сплавов, содержащих медь (в частности дуралюмина) использован 1%-ный раствор едкого натра (1 г NaOH; 100 мл H₂O) [там же].

Просмотр и фиксацию картины макро- и микрошлифов выполняли с использованием:

- 1) фотомикроскопа отраженного света НЕОРНОТ 30;
- 2) электронного растрового микроскопа с камерой низкого вакуума и системой энергодисперсионного микроанализа РЭМ-106.

Фото макро- и микрошлифов представлены на рис. 6. Для сравнения на рис. 7 приведены результаты численного моделирования НДС в зоне упрочнения отверстия при скоростном дорновании.

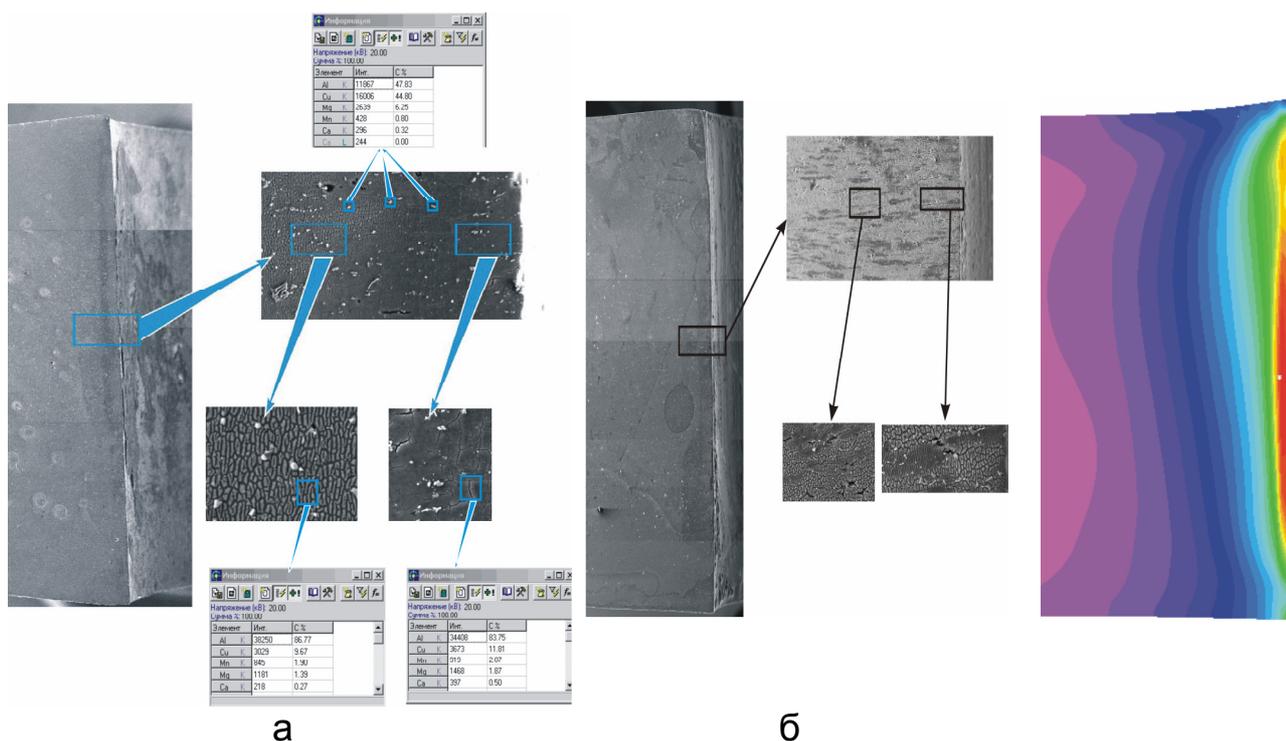


Рисунок 6 – Макро- и микрошлифы образца в зоне отверстия, упрочненного с натягом 3,6%:
а – скоростным дорнованием; б – квазистатическим дорнованием

Рисунок 7 – Результаты моделирования МКЭ

Для измерения твердости использовали устройство ТК-2 (рис. 8), результаты приведены на рис. 9.



Рисунок 8 – Устройство для измерения твердости ТК-2

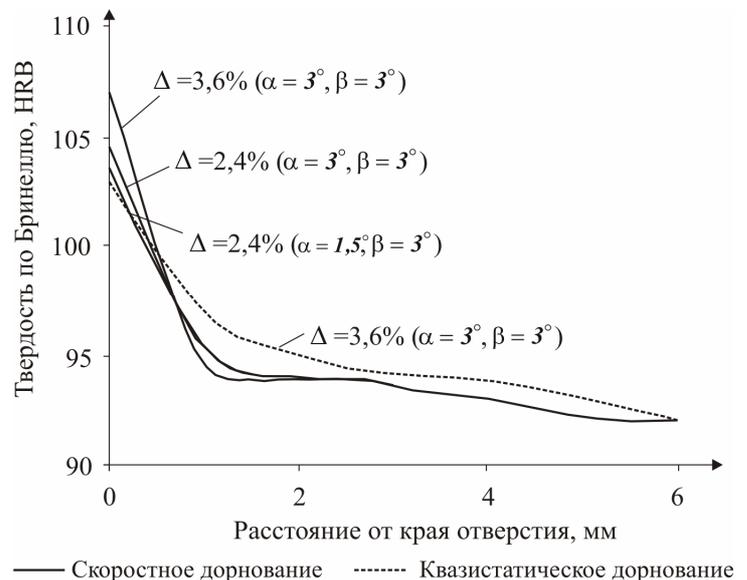


Рисунок 9 – Твердость образцов, упрочненных скоростным и квазистатическим дорнованием

Результаты анализа полученных макрошлифов позволяют сделать следующие выводы:

- при скоростном дорновании линии деформации находятся ближе к стенкам отверстия, а при квазистатическом дорновании проникают более глубоко; интенсивность деформаций выше при квазистатическом упрочнении;
- численное моделирование НДС в зоне упрочнения отверстия и результаты эксперимента демонстрируют высокую степень сходства.

Результаты анализа микрошлифов говорят о следующем:

- после скоростного дорнования границы между зернами возле стенки отверстия плохо различимы по сравнению с зернами, находящимися на некотором удалении от стенки отверстия, что свидетельствует о более высокой степени деформации возле стенки отверстия;
- после квазистатического дорнования зерна не имеют больших отличий в размерах и форме по всей глубине от стенки отверстия, за исключением некоторых зон локализации деформаций, связанных с неоднородностью материала; это свидетельствует о том, что деформации при квазистатическом дорновании проникают более глубоко и при этом не концентрируются возле

стенки отверстия.

Результаты замеров твердости образцов в зоне упрочнения показали, что твердость вблизи стенки отверстия при скоростном дорновании на 45% выше, чем при квазистатическом. Данный факт подтверждает результаты макро- и микроанализа, что в данной зоне деформации при скоростном дорновании больше, чем при квазистатическом.

Выводы

Результаты эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

- корсетность отверстия при квазистатическом дорновании больше на 10-20%, чем при скоростном упрочнении;
- отклонение образующей после скоростного и квазистатического дорнования находится в пределах Н9–Н8 квалитетов;
- шероховатость поверхности отверстия после развертывания находится в пределах Ra 2...0,3; скоростное дорнование позволяет улучшить качество поверхности до Ra 1,1...0,3 при $\beta = 5^\circ$ и до Ra 0,6...0,3 при $\beta = 3^\circ$;
- твердость материала образца вблизи стенки отверстия при скоростном дорновании выше на 45%, чем при квазистатическом;
- сравнительный анализ результатов численного моделирования с экспериментальными данными позволяет говорить о высокой степени достоверности полученных результатов, т.к. расхождение не превышает 3%.

Список использованных источников

1. Разработка технологического процесса и инструмента скоростного дорнования отверстий авиационных конструкций из алюминиевых сплавов: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 / Воронько Виталий Владимирович. – Х., 2007. – 133 с.
2. Упрочнение отверстий болтовых соединений в конструкциях из алюминиевых сплавов. Производственная инструкция ПИ-6843. Издание 4. – 1987. – 16 с.
3. РТМ 1.4.1941-89. Сборка болтовых соединений. – М.: НИАТ, 1990. – 51 с.
4. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – А.А. Спиридонов – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
5. Беккерт М., Клемм Х. Справочник по металлографическому травлению. Лейпциг, 1976. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1979. – 336 с.

Поступила в редакцию 04.06.09.

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