

Численное моделирование процесса импульсного дорнования отверстий авиационных конструкций из титановых сплавов с помощью LS-DYNA

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Разработана численная модель, позволяющая определить с требуемой точностью рациональные параметры технологического процесса импульсного дорнования отверстий авиационных конструкций из титановых сплавов. Определены рациональные параметры технологического процесса импульсного дорнования отверстий, обеспечивающие требуемое качество отверстий авиационных конструкций из титановых сплавов. Даны рекомендации для разработки конструкций пневмоимпульсных устройств для дорнования.

Ключевые слова: дорн, импульсное дорнование, численная модель, корсетность, отклонение образующей отверстия

Введение

Методы поверхностного пластического деформирования (ППД) представляют собой эффективный способ увеличения циклической долговечности свободных незаполненных отверстий (например, отверстий для перетекания топлива в баке-кессоне) и отверстий под высоконагруженные механические соединения.

Для упрочнения поверхности отверстий применяют в порядке предпочтения следующие технологические процессы: раскатывание, дорнование, выглаживание, чеканку, обработку дробью (дробеструйную и пневмодинамическую) и центробежную обработку.

Для отверстий диаметром 6...8 мм рекомендуется применять дорнование.

Существует квазистатическое и импульсное дорнование.

Квазистатическое дорнование осуществляют с помощью машин для затяжки болтов, протяжных машин и прессов. Этому способу присущи следующие существенные недостатки:

- требуется двухсторонний подход в зону отверстия и участие двух рабочих;
- появляются наплывы на кромках отверстий, искажается образующая отверстия (корсетность).

Для устранения таких недостатков после дорнования требуется проведение калибровки отверстий до Н7. Однако при этом срезается наиболее наклепанный поверхностный слой материала.

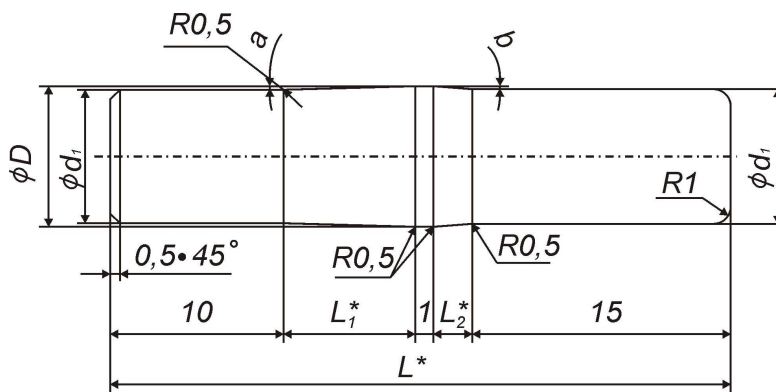
По сравнению с квазистатическим методом высокоскоростное дорнование имеет бесспорные преимущества, отмеченные в работах [1-3].

Экспериментальные методы выбора рациональных технологических параметров процесса импульсного дорнования требуют значительных материальных, трудовых и временных затрат. Современный уровень развития программного обеспечения и вычислительной техники обеспечивает возможность численного моделирования этого процесса методом конечных элементов (МКЭ).

Численное моделирование позволяет определить рациональные параметры технологического процесса импульсного дорнования отверстий авиационных конструкций из титановых сплавов и дать рекомендации для проектирования новых схем и конструкций пневмоимпульсных устройств дорнования. [4-6].

Исследование влияния геометрии дорна на геометрические параметры отверстий

Качество дорнованных отверстий определяется геометрическими параметрами рабочего инструмента, дорна: передним \bar{b} и задним \bar{v} углами, диаметром D и шириной L пояса дорна. Согласно анализу литературы, а также рекомендациям НИИАТа и с учетом реверсного (обратного) дорнования, для исследования выбраны следующие параметры дорна (рис. 1).



№	L^*	a , Град	b , Град	L_1^*	L_2^*
1	40,21	1,5	3	8,59	4,29
2	34,59	3	3	4,29	4,29

Рис. 1. Геометрические параметры дорна

При численном моделировании для исследования влияния геометрии дорна на геометрические параметры отверстия приняты следующие исходные данные:

– диаметры пояса дорна $D = 6^{+0,15}$ и $8^{+0,15}$ мм, а диаметры направляющих частей дорна $d_1 = 5,7$ и $7,7$ мм;

– углы дорна:

1) передний $\bar{b} = 1,5^\circ$ и $\bar{b} = 3^\circ$;

2) задний $\bar{v} = 3^\circ$;

– толщина пакета пластины S принята равной 4 мм, 8 мм, 12 мм;

– начальная скорость дорнования $V_H = 20$ м/с (энергия дорнования $E = 100$ Дж);

– натяг – 1,2 и 2,4%;

– коэффициент трения $m = 0,07$.

Распределение деформации в зоне отверстия после прямого и реверсного скоростного дорнования дорном показано на рис. 2.

К отверстиям для постановки болтов показателями критерия качества являются требования к отклонению от прямолинейности образующей отверстия (корсетность), а также опорной и свободной поверхностей образца (наплывы). Одним из наиболее важных показателей качества дорнованного отверстия является отклонение образующей Δ .



Рис. 2. Конечно-элементная модель деформации в зоне отверстия после прямого и реверсного скоростного дорнования

Результаты моделирования показали, что отклонение образующей отверстия и допуск на диаметр Δd_{OTB} имеют минимальные значения при $\beta = 1,5^\circ$, чем при $\beta = 3^\circ$ (рис. 3).

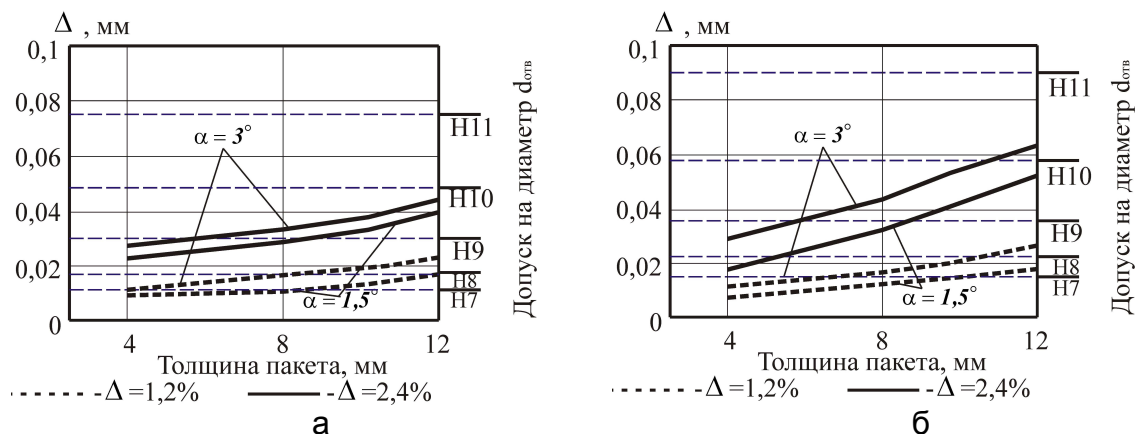


Рис. 3. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на отклонения образующей и допуск на диаметр при переднем угле дорна $\beta = 1,5^\circ$ и $\beta = 3^\circ$
 (а – $D = 6^{+0,15}$ мм; б – $D = 8^{+0,15}$ мм)

Также получены результаты, определяющие затраченную энергию на процесс прямого и обратного дорнования и значения скорости дорна на выходе из отверстия (рис. 4-7).

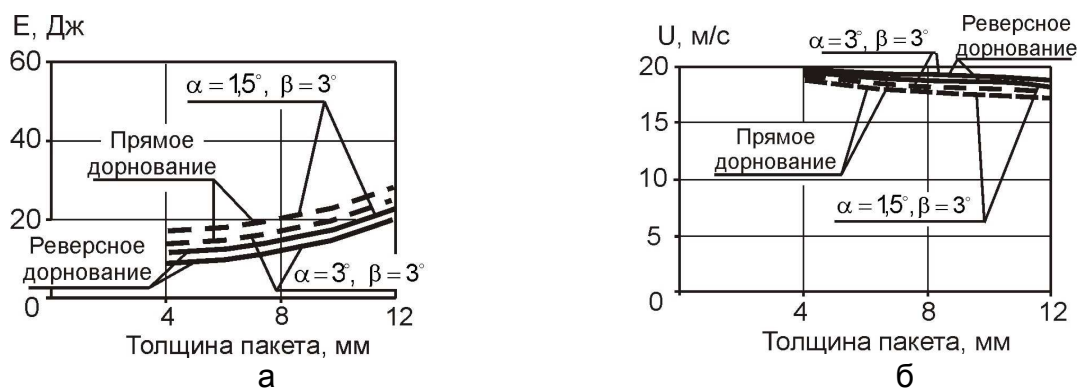


Рис. 4. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при прямом и реверсном дорновании ($D = 6^{+0,15}$ мм, натяг 1,2%)

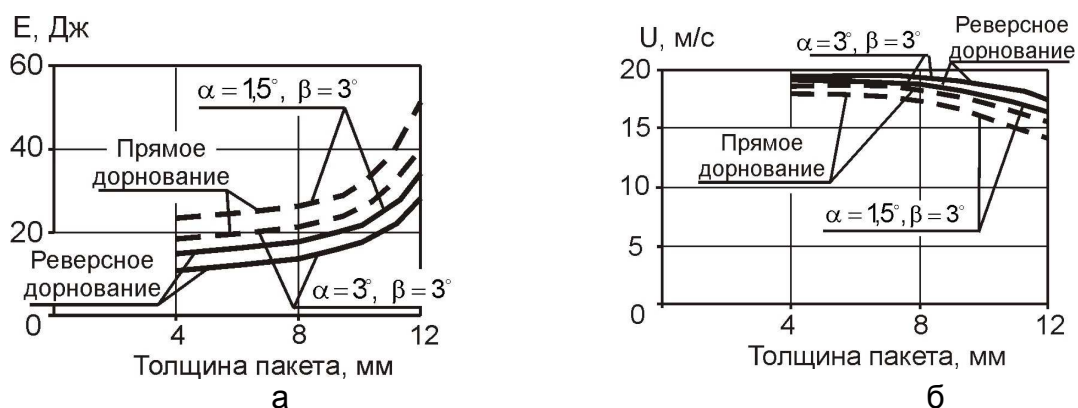


Рис. 5. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при прямом и реверсном дорновании ($D = 6^{+0,15}$ мм, натяг 2,4%)

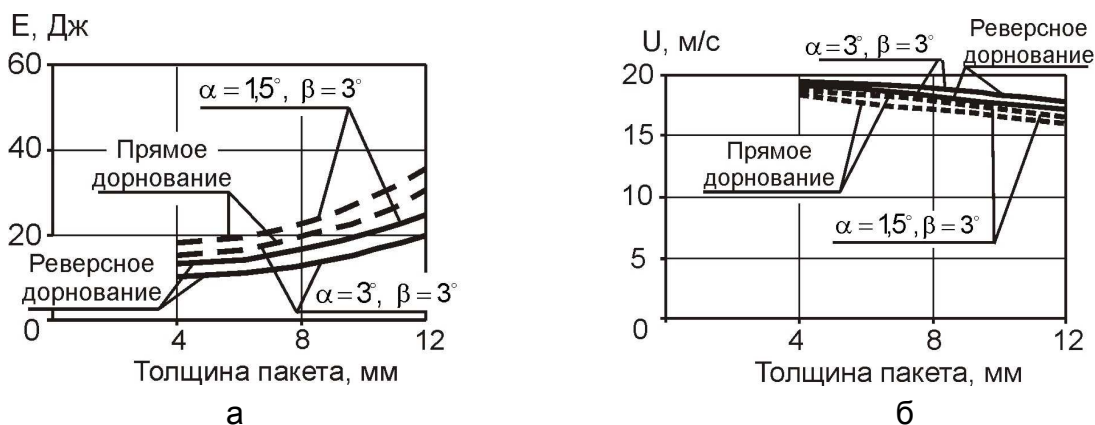


Рис. 6. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при прямом и реверсном дорновании ($D = 8^{+0,15}$ мм, натяг 1,2%)

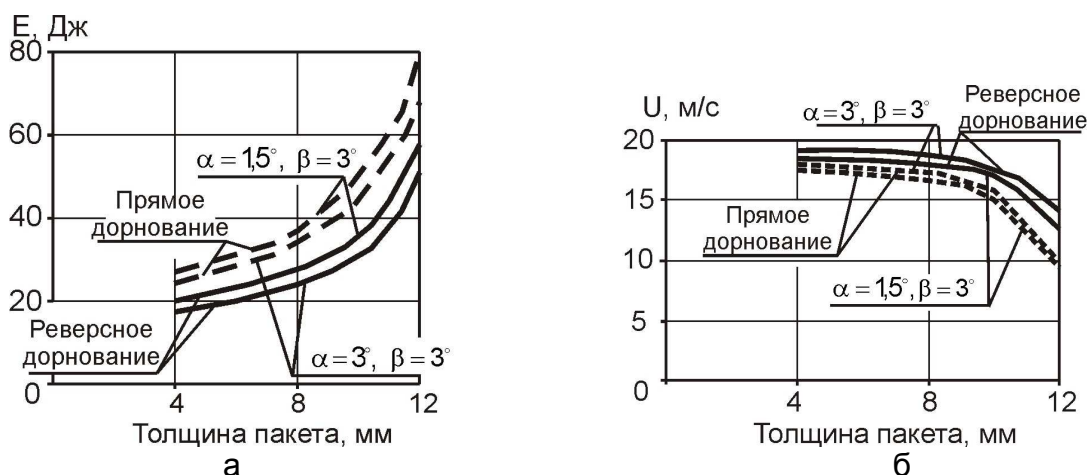


Рис. 7. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при прямом и реверсном дорновании ($D = 8^{+0,15}$ мм, натяг 2,4%)

Анализ полученных результатов показал, что при реверсном дорновании затрачивается энергии на 55% меньше, чем при прямом дорновании. Это позволит проводить прямое дорнование за два удара, а реверсное – за один.

Поэтому в разработку устройства необходимо заложить возможность проводить процесс прямого и реверсивного дорнования как за один, так и за несколько ударов.

Исследование влияния коэффициента трения (смазки) на геометрические параметры отверстий

При численном моделировании для исследования влияния коэффициента трения (смазки) на геометрические параметры отверстий приняты следующие параметры технологического процесса:

- диаметры пояска дорна $8^{+0,15}$ мм, а диаметры направляющих частей дорна $d_1 = 7,7$ мм;

- углы дорна: передний $\beta = 1,5^\circ$ и задний $\alpha = 3^\circ$;

- толщина пакета пластины S принята равной 4 мм, 8 мм, 12 мм;

- начальная скорость дорнования $V_H = 20$ м/с (энергия дорнования $E = 100$ Дж);

- натяг 2,4 %;

- коэффициент трения $m = 0,02$, $m = 0,04$, $m = 0,07$ и $m = 0,1$.

Полученные результаты (рис. 8) показали, что с уменьшением коэффициента трения величина отклонения образующей отверстия от прямолинейной увеличивается, т.е. не всегда эффективным является использование дорогостоящих смазок (МП 2000, дисульфид молибдена и др.), при которых коэффициент трения является наименьшим ($m = 0,02 \dots 0,04$), т.к. при этом увеличивается корсетность отверстий.

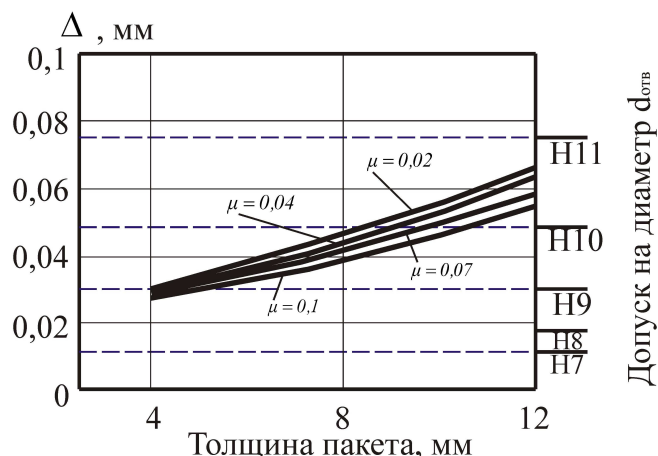


Рис. 8. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на отклонение образующей и допуск на диаметр при различных смазках (коэффициентах трения)

На рис. 9 показаны результаты расчета скорости дорна на выходе из отверстия при прямом и реверсном дорновании, а также значения энергии, затраченной на данные процессы. Результаты этих исследований позволяют рационально выбирать смазки для процессов высокоскоростного дорнования, а также рационально использовать энергетические возможности пневмоимпульсных устройств дорнования отверстий.

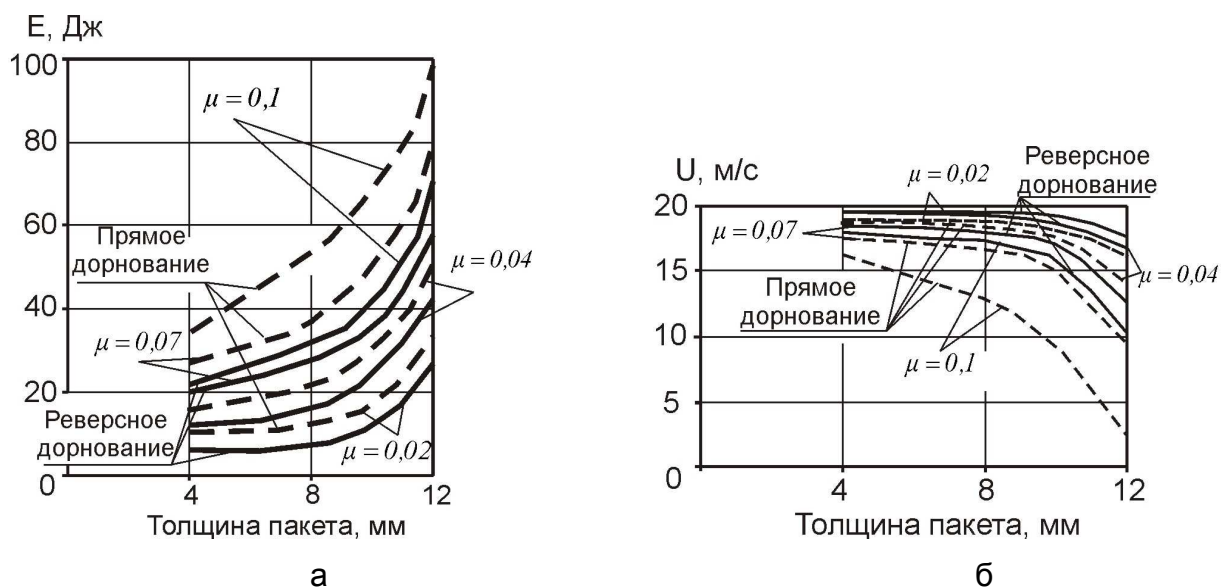


Рис. 9. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при различных коэффициентах трения

Выводы

1. Определены рациональные параметры технологического процесса импульсного дорнования отверстий авиационных конструкций из титановых сплавов, обеспечивающие требуемое качество поверхности отверстий.

2. Для подтверждения полученных результатов необходимо провести полнофакторный натурный эксперимент.

Список литературы

1. Воробьев, Ю.А. Перспективные устройства для реализации процесса дорнования отверстий [Текст] / Воробьев Ю.А., Воронько В.В. // Авиационно-космическая техника и технология. 2004. – №3 (11). – С. 28-32.

2. Лысенко, Ю.Л. Высокоскоростное дорнование отверстий с применением магнитно-импульсного привода при сборке агрегатов летательных аппаратов [Текст] / Лысенко Ю.Л., Щербатых В.В., Несолёный В.С. // Вопросы технологии сборки конструкций летательных аппаратов. – Куйбышев: КуАИ, 1982. – С. 115-121.

3. Воробьев, Ю.А. Сравнительный анализ способов дорнования отверстий [Текст] / Воробьев Ю.А., Воронько В.В., Степаненко В.Н. // Системи обробки інформації. – Харківський університет Повітряних Сил, 2007. – Вып. 5 (63). – С. 35-38.

4. Кривцов, В.С. Скоростное дорнование отверстий авиационных конструкций из алюминиевых сплавов пневмоимпульсными устройствами [Текст]: моногр. / В.С. Кривцов, Ю.А. Воробьев, В. В. Воронько; Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 99 с.

5. Воробьев, Ю.А. Сравнительный анализ способов дорнования отверстий / Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько, В.Н. Степаненко [Текст] // Системи обробки інформації: зб. наук. праць Харк. ун-та Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – Вып. 34. – Х., 2007. – С. 71-79.

6. Воробьев, Ю.А. Определение рациональных параметров процесса скоростного дорнования отверстий с помощью LS-DYNA [Текст] / Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько, Ю.В. Дьяченко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 39. – Х., 2008. – С. 134-140.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. Ф.В. Новиков, Харьковский национальный экономический университет, Харьков

Поступила в редакцию 04.09.12.

Чисельне моделювання процесу імпульсного дорнування отворів авіаційних конструкцій з титанових сплавів за допомогою LS-DYNA

Розроблена чисельна модель, що дозволяє визначити з необхідною точністю раціональні параметри технологічного процесу імпульсного дорнування отворів авіаційних конструкцій з титанових сплавів. Визначено раціональні параметри технологічного процесу імпульсного дорнування отворів, що забезпечують необхідну якість отворів авіаційних конструкцій з титанових сплавів. Дано рекомендації для розробки конструкцій пневмоімпульсних пристроїв для дорнування.

Ключові слова: дорн, імпульсне дорнування, чисельна модель, корсетність, відхилення твірної отвору

Numerical simulation of pulsed mandrelling holes aircraft structures made of titanium alloys using LS-DYNA

A numerical model, which allows to determine the required accuracy rational process parameters pulse mandrelling holes of aircraft structures made of titanium alloys. The rational process parameters pulse mandrelling holes to ensure the required quality of the holes of aircraft structures made of titanium alloys. Recommendations for development of structures pneumatic impulse devices mandrelling.

Keywords: punch, impulse mandrelling, numerical model, corset, a hole deviation