

УДК 621.7.044

В. Н. ВОРОНИН<sup>1</sup>, В. Е. ЗАЙЦЕВ<sup>1</sup>, В. Ю. КОЦЮБА<sup>2</sup>, В. В. ТРЕТЬЯК<sup>1</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*<sup>2</sup> *АО «МОТОР СИЧ», Запорожье, Украина*

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ ЛИСТОВЫХ ТИТАНОВЫХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ВЗРЫВНОЙ ШТАМПОВКИ

*Представлены материалы для определения параметров внешней нагрузки (поля давления) для штамповки взрывом сварных листовых титановых заготовок для возможных способов штамповки с помощью интерактивного программного комплекса. Предложена методика определения граничного угла наклона сварного шва. Представлена схема взаимного расположения заготовки и сварочной шины. Предложен теоретический подход, базирующийся на упрощенных деформационных моделях. Представлена номограмма для определения граничного угла наклона сварного шва. Метод расчета позволяет разрабатывать технологические приемы, позволяющие снизить брак при штамповке.*

**Ключевые слова:** *параметры внешней нагрузки, поле давления, сварной шов, граничный угол наклона*

### Введение

Импульсные технологии наиболее эффективны для изготовления сложных деталей, изготавливаемых из высокопрочных материалов. Особое внимание требует разработка технологических процессов изготовления деталей из сварных титановых заготовок со сложными конструктивными элементами.

Наличие сварного шва (СШ) вносит свои коррективы в технологический процесс изготовления детали.

Задачей исследований является разработка метода расчета технологических процессов взрывной штамповки для титановых листовых деталей со сложными конструктивными элементами, позволяющего предотвратить брак и использовать максимальную пластичность материала для заданных условий штамповки.

### 1. Особенность штамповки сварных титановых заготовок

При штамповке сварных титановых заготовок со сложными конструктивными элементами необходимо обратить особое внимание на околошовную зону (ОШЗ) и зону сварного шва (ЗСШ), т.к. в этих зонах наиболее часто возникают разрыв материала.

В этом случае необходимо принять способ штамповки, при котором заготовку раскраивают из листа, сворачивают из листа в обечайку, устанавливают в матрицу и формуют импульсными методами.

При этом для эффективности штамповки заготовку можно раскроить в виде параллелограмма с

углом наклона боковой стороны к основанию  $\alpha$ .

В результате этого при выполнении сварного шва наклонным на заготовке происходит перераспределение деформаций в самом шве и околошовной зоне при неизменной интенсивности деформаций, т.к. технологические параметры процесса остались неизменными.

Наклоном шва можно обеспечить оптимальное распределение деформаций в сварном шве.

На рис. 1 изображена схема штамповки деталей с наклонным швом.

Штамповка деталей данным способом позволяет полностью исключить разрушение заготовок в ОШЗ.

Для сравнения на рис. 2 представлены детали со СШ, расположенным по образующей и наклонным СШ.

### 2. Расчет параметров внешней нагрузки

В работе [1] представлен интерактивный программный комплекс для расчета параметров импульсной нагрузки для штамповки цилиндрических листовых деталей, работающий в среде мультиагентной системы проектирования импульсных технологий.

Расчет параметров и элементов технологического процесса производится методом синтеза с элементами аналога.

На рис. 3 представлен фрагмент экранной формы программы для определения параметров внешней нагрузки.

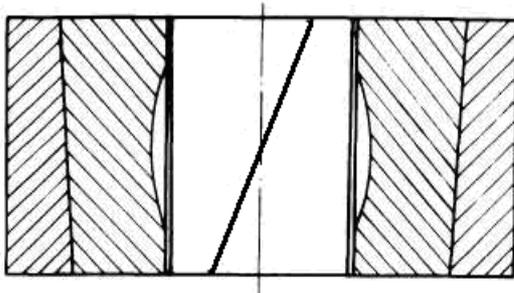


Рис. 1. Схема штамповки деталей с наклонным сварным швом



Рис. 2. Деталь с прямым и наклонным сварным швом

Расчет параметров внешней нагрузки для штамповки БВВ и ЭГШ

**Входные параметры штамповка БВВ**

- внутренний радиус матрицы в расчетном сечении (R1, м) 0,264
- масса погонного метра линейного заряда (q, кг/м) 0,04
- масса сосредоточенного заряда (G, кг)

**Выходные параметры**

- амплитудное давление (P1, Н/м<sup>2</sup>)
- характеристическое время (theta, с)

**Входные параметры штамповка ЭГШ**

- внутренний радиус матрицы в расчетном сечении (R1, м) 0,264
- плотность жидкости (rho, кг/м<sup>3</sup>) 0,250
- длина искрового промежутка (L, м) 2
- время разряда (tau, с) 1
- индуктивность разрядного контура (Lk, мкГ) 8
- емкость конденсатора (Ck, ф) 200
- полная энергия, выделяющаяся в канале (Eзар, кДж) 25

Формулы для расчета параметров штамповки ЭГШ

$$P_1 = \rho_0 \frac{R_0}{\tau^2} \cdot \frac{\ell}{R_1}$$

$$\theta_1 \approx \tau = 2\pi \sqrt{L_K C_K}$$

Расчет ЭГШ

Линейный заряд тротила	Линейный заряд ТЭНового Дегонирующего шнура		Размерность
	$0.19 \leq \frac{R_1}{q^{1/2}} \leq 0.26$	$0.26 \leq \frac{R_1}{q^{1/2}} \leq 3.74$	
$P_1 = 7.07 \cdot 10^7 \left( \frac{q^{1/2}}{R_1} \right)^{0.72}$	$P_1 = 4.79 \cdot 10^7 \left( \frac{q^{1/2}}{R_1} \right)^{1.08}$	$P_1 = 8.4 \cdot 10^7 \left( \frac{q^{1/2}}{R_1} \right)^{0.71}$	Н/м <sup>2</sup>
$\theta = 10^{-4} q^{1/2} \left( \frac{R_1}{q^{1/2}} \right)^{0.43}$	$\theta = 1.15 \cdot 10^{-4} q^{1/2} \left( \frac{R_1}{q^{1/2}} \right)^{0.43}$	$\theta = 1.15 \cdot 10^{-4} q^{1/2} \left( \frac{R_1}{q^{1/2}} \right)^{0.43}$	с

Расчет для линейного заряда

- Тротил
- ДШ 1 случай
- ДШ 2 случай
- Вне диапазона

$R_1 < 10r_0$	$R_1 > 10r_0$	Размерность
$P_1 = 4.91 \cdot 10^7 \left( \frac{G^{1/3}}{R_1} \right)^{2.2}$	$P_1 = 4.91 \cdot 10^7 \left( \frac{G^{1/3}}{R_1} \right)^{1.16}$	Н/м <sup>2</sup>
$\theta_1 = 1.26 \cdot 10^{-4} G^{1/3} \left( \frac{R_1}{G^{1/3}} \right)^{1/2}$	$\theta_1 = 1.2 \cdot 10^{-4} G^{1/3} \left( \frac{R_1}{G^{1/3}} \right)^{0.16}$	с

Расчет для сосредоточенного заряда

- R1 < 10 \* r0
- R1 > 10 \* r0

Вид расчета

- Расчет 1 (тротил линейный)
- Расчет 2 (ДШ)
- Расчет 3 (Сосредоточенный заряд)

Очистить позиции

Рис. 3. Экранная форма программы для расчета параметров внешней нагрузки для БВВ

### 3. Методика определения граничного значения угла наклона сварного шва

В связи с конечностью значений заготовки размеров сварочной шины предельные значения угла наклона сварного шва ограничены.

Сначала необходимо определить максимальное значение угол наклона  $\alpha$ , где  $\alpha$  - угол, под ко-

торым еще можно осуществлять сварочную операцию заготовки заданных габаритов.

Пусть H - высота заготовки, D - ее диаметр, a d - диаметр сварочной шины (рис. 4).

На рис. 5 представлена номограмма для определения граничного угла наклона сварного шва в зависимости от этих характеристик [2].

Согласно этой номограмме для определения максимально возможного угла сварка заготовки необходимо точки на шкалах H и D, соответствующие

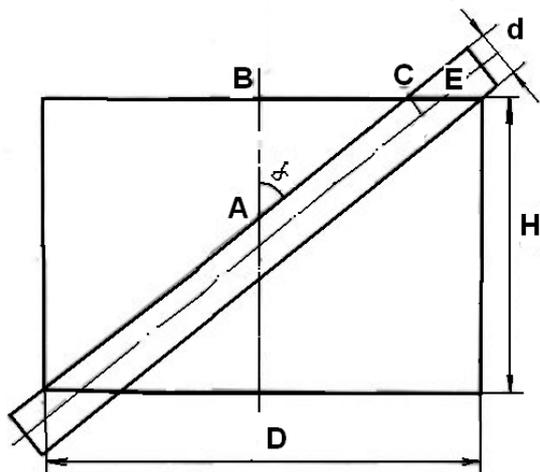


Рис. 4. Схема взаимного расположения заготовки и сварочной шины

диаметру и высоте заготовки соединить прямой линией и найти пересечение этой линии с линией, соответствующей диаметру сварной шины.

Проекция на ось X точки пересечения двух последних линий будет соответствовать максимально возможному углу наклона сварного шва. Таким образом определяется граничное значение угла наклона сварного шва.

### Выводы

Представленная схема штамповки титановых деталей с наклонным сварным швом позволяет снизить брак и улучшить качество изготавливаемых деталей.

Использование разработанного интерактивного программного комплекса для определения параметров внешней нагрузки (поля давления) позволяет оптимизировать технологические параметры и реализовать оптимальную схему напряженно-деформированного состояния заготовки при формоизменении сварных цилиндрических заготовок импульсными методами.

Представленная методика определения максимального угла наклона сварного шва позволяет разработать оптимальный технологический процесс для исключения брака и улучшения качества изготавливаемых деталей.

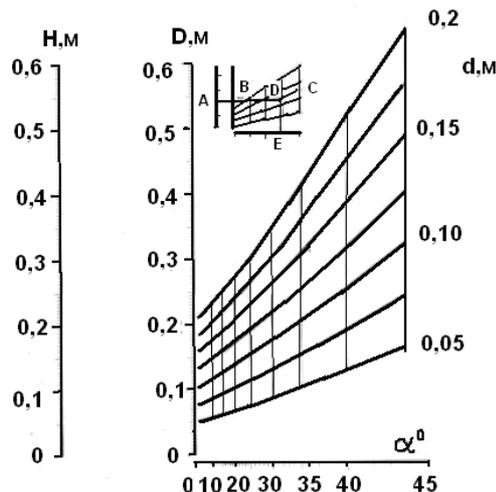


Рис. 5. Номограмма для определения максимального угла наклона  $\alpha$

### Литература

1. Третьяк, В. В. Мультиагентная система синтеза технических решений в области импульсной технологии для объектов аэрокосмического комплекса [Текст] / В. В. Третьяк // *Proceedings XXIV international conference «New Leading technologies in machine building» Rybachie, Ukraine. September 3-8 2014.* – P. 15.
2. Воронин, В. Н. Разработка и внедрение методов повышения штампуемости сварных заготовок при взрывном формообразовании листовых деталей летательных аппаратов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.07.04 / Виктор Николаевич Воронин. – Х., 1988. – 168 с.

### References

1. Tret'jak, V. V. Mul'tiagentnaja sistema sinteza tehniceskikh reshenij v oblasti impul'snoj tehnologii dlja ob'ektov ajerokosmicheskogo kompleksa [Multi-agent system for the impulse technology solutions synthesis in the aerospace industry]. *Proceedings XXIV international conference «New Leading technologies in machine building»*. Rybachie, 2014, pp. 15.
2. Voronin, V. N. *Razrabotka i vnedrenie metodov povyshenija shtampuemosti svarnyh zagotovok pri vzryvnom formoobrazovanii listovyh detalej letatel'nyh apparatov* : dis. ... kand. tehn. nauk. [Methods of the welded workpieces stamping ability improvement development and realization in the aircraft sheet articles explosive forming. Diss... PhD thesis]. Kharkov, 1988. 168 p.

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

### ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ ЛИСТОВИХ ТИТАНОВИХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ВИБУХОВОГО ШТАМПУВАННЯ

*В. М. Воронін, В. Є. Зайцев, В. Ю. Коцюба, В. В. Третяк*

Представлені матеріали для визначення параметрів зовнішнього навантаження (поля тиску) для штампування вибухом зварних листових титанових заготовок для можливих способів штампування за допомогою інтерактивного програмного комплексу. Запропонована методика визначення граничного кута нахилу зварного шва. Представлена схема взаємного розташування заготовки і зварювальної шини. Запропонований теоретичний підхід, що базується на спрощених деформаційних моделях. Представлена номограма для визначення граничного кута нахилу зварного шва. Метод розрахунку дозволяє розробляти технологічні прийоми, що дозволяють понизити брак при штампуванні.

**Ключові слова:** параметри зовнішнього навантаження, поле тиску, зварний шов, граничний кут нахилу

### FEATURES OF TECHNOLOGY OF MAKING OF THE WELDED SHEET TITANIC PURVEYANCES BY THE METHOD OF THE EXPLOSIVE STAMPING

*V. N. Voronin, V. Ye. Zaitsev, V. Yu. Kotsyuba, V. V. Tretyak*

Materials are presented for the decision of parameters of the external loading (fields of pressure) for stamping by the explosion of the welded sheet titanic purveyances for the possible methods of stamping by the interactive program complex. A method is offered of decision of border angle of slope of the welded stitch. A mutual layout chart is presented of purveyance and welding bus. Theoretical approach is offered, being based on the simplified deformation models. Nomogramma is presented for the decision of border angle of slope of the welded stitch. A method of computation allows to develop the technological receptions, allowing to lower marriage at stamping.

**Keywords:** parameters of the external loading, field of pressure, welded stitch, border angle of slope

**Воронин Виктор Николаевич** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. каф. технологии производства летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Зайцев Виталий Егорьевич** – д-р техн. наук, проф., проф. каф. технологии производства летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Коцюба Виктор Юрьевич** – заместитель технического директора, начальник экспериментально-исследовательского комплекса ОКБ АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина.

**Третяк Владимир Васильевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. технологий производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: vladimir.tretjak@mail.ru.

**Voronin Victor Nikolayevich** – kand. tehn. sciences, senior research worker of department of technology of production of aircraft of the National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine.

**Zaitsev Vitaly Egorievich** – doctor of engineering sciences, professor of department of technology of production of aircraft of the National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine.

**Kotsyuba Victor Yurievich** – deputy of technical director, chief of experimental-research complex of ОКБ АО «Motor Sich», Zaporozhia, Ukraine.

**Tretyak Vladimir Vasiliyevich** – kand. tehn. sciences, associate professor of department of technologies of production of aviation engines of the National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: vladimir.tretjak@mail.ru.