

УДК 621.7.044

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ МЕТОДИКА СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ МАТРИЦ  
ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ****В. В. Драгобецкий, Е. А. Наумова, С. В. Шлык, Р. И. Рей, Ю. С. Саленко**

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Дан анализ новых технологических способов упрочняющей обработки деталей больших габаритов. Установлены резервы повышения долговечности штамповой оснастки. Представлена систематизация факторов, влияющих на стойкость матриц. Обоснована актуальность проблемы повышения стойкости и работоспособности штамповой оснастки. Обоснована целесообразность использования методов взрывного упрочнения и упрочнения сходящимися ударными волнами для стабилизации размеров матриц больших габаритов. Проведено моделирование взрывного нагружения матриц и дано сопоставление результатов расчетов с экспериментальными данными. Разработанная технология позволяет исключить термическую обработку матриц и затраты на ее осуществление. Перспективное направление в этой области связано с применением фрикционного упрочнения в комбинации методами ударной обработки.

**Ключевые слова:** взрыв, матрица, упрочнение, заготовка, твердость.**ВИРОБНИЧА МЕТОДИКА СТАБІЛІЗУЮЧОЇ ОБРОБКИ МАТРИЦЬ  
ДЛЯ ІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ****В. В. Драгобецький, О. О. Наумова, С. В. Шлик, Р. І. Рей, Ю. С. Саленко**

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Наведено аналіз нових технологічних способів зміцнюючої обробки деталей великих габаритів. Встановлено резерви підвищення довговічності штампового оснащення. Представлено систематизацію факторів, що впливають на стійкість матриць. Обґрунтовано актуальність проблеми підвищення стійкості і працездатності штампового оснащення. Обґрунтовано доцільність використання методів вибухового зміцнення і зміцнення ударними хвилями, які сходяться, для стабілізації розмірів матриць великих габаритів. Проведено моделювання вибухового навантаження матриць і дано зіставлення результатів розрахунків з експериментальними даними. Розроблена технологія дозволяє виключити термічну обробку матриць і витрати на її здійснення. Перспективний напрямок в цій галузі пов'язан із застосуванням фрикційного зміцнення в комбінації методами ударної обробки.

**Ключові слова:** вибух, матрица, зміцнення, заготовка, твердість.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** При производстве крупногабаритных листовых деталей авиационных двигателей сложной пространственной конфигурации из титановых и высокопрочных сталей важное значение имеют вопросы снижения материалоемкости выпускаемой продукции, экономного расходования сырья, энергетических ресурсов, материалов, разработки и применения прогрессивных и малоотходных технологий. Одним из прогрессивных методов, которые позволяют решить эти задачи, являются процессы импульсной металлообработки. Для дальнейшего развития и совершенствования процессов импульсной металлообработки необходимо разработать комплекс мероприятий по повышению стойкости и работоспособности штамповой оснастки. При гидровзрывной штамповке происходит интенсивное импульсное нагружение штампов. Обычно стойкость штампов выражается суммарным временем контакта с деформируемым металлом, в этом случае оно исчисляется лишь сотыми и десятими долями секунд. Кроме того штампы подвергаются воздействию импульсных и ударных нагрузок. Относительно этого штампы для гидровзрывного формообразования не имеют равных среди других видов металлообрабатывающего инструмента.

Технико-экономическая эффективность и целесообразность применения процессов гидровзрывной штамповки в значительной мере определяется стоимостью матриц, их стойкостью и сроком эксплуатации.

Цель работы – разработка и выбор метода упрочняюще-стабилизирующей обработки зеркала матриц для гидровзрывной штамповки тонколистовых деталей замкнутой формы.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Резервом повышения долговечности штамповой оснастки для взрывной штамповки является применение поверхностных методов упрочнения, которые связаны с использованием концентрированных потоков энергии.

В целом следует отметить, что анализ направленный развития технологий поверхностного упрочнения позволил установить, что наиболее перспективным методом решения актуальных задач повышения эффективности и мобильности технологий импульсного упрочнения является поиск и освоение новых аспектов импульсного воздействия на металлы и сплавы. Выявление новых технологических и физических эффектов при импульсном воздействии можно добиться, используя специализированные методы направленного синтеза, упорядоченных и неупорядоченных методов поиска [1–6], среди которых наиболее перспективен обобщенный эвристический метод [1]. Последний предполагает наличие информационной базы в виде систематизированных и классифицированных фондов технологических решений, а также фондов физико-технических и химических эффектов, законов развития технических систем и эвристических приемов.

На классифицировании по общим признакам освоен один из распространенных методов техниче-

ского поиска – морфологический анализ. Последний относится к методам логической организации идей и позволяет не только быстро войти в суть исследуемой проблемы и расширить область поиска [1], но и выявить новые и перспективные физические эффекты и технические решения. В импульсной металлообработке в дополнение к морфологическим таблицам, классификаторов технических способов, фондов физико-технических эффектов, эвристических приемов использованы информационные фонды освоенных технологий упрочнения и нанесения износостойких абразивностойких покрытий. Фонд физико-технических эффектов дополнен законами, эффектами и принципами присущих процессам упрочняющей обработки металлов:

- законы взаимодействия ударных волн с металлами (тепловые эффекты при адиабатическом сжатии, механизм пластической деформации, генерирования дислокаций в условиях импульсного нагружения массоперенос в ударных волнах, явление откола и т.д.);

- кавитационное упрочнение металлов при взрывном нагружении через передающую среду;

- процессы возврата и рекристаллизации;
- диффузионные процессы и законы диффузии;
- адгезия и когезия;

- эффекты упрочнения и разрушения;

- эффекты влияния скорости деформирования;

- эффекты откола и быстрой кристаллизации;

- теория проникания;

- основные тенденции легирования износостойких сталей;

- нанотехнология.

Выделим девять основных аспектов  $S_i$ , характеризующих проблему упрочнения матриц для взрывной штамповки. Для каждого из этих аспектов можно найти несколько вариантов решений  $Y_j^i$ , число которых колеблется от 3 до 11.

В качестве упрочняемых деталей  $Y_j^1$  могут быть:

$Y_1^1$  - неразъемные матрицы;

$Y_2^1$  - составные матрицы с горизонтальным разъемом;

$Y_3^1$  - составные матрицы с вертикальным разъемом и силовым бандажом;

$Y_4^1$  - составные матрицы с вертикальным разъемом и силовым корпусом.

Возможные виды разрушений  $Y_j^2$ :

$Y_1^2$  - необратимые деформации;

$Y_2^2$  - износ;

$Y_3^2$  - сколы;

$Y_4^2$  - выкрашивание;

$Y_5^2$  - трещины и микротрещины.

Условия упрочнения  $Y_j^3$ :

$Y_1^3$  - в производственных условиях;

$Y_2^3$  - на специально оборудованном участке;

$Y_3^3$  - во взрывной камере.

Конструктивные и конструктивно-технологические способы обеспечения и повышения износостойкости включены в класс  $Y_j^4$ :

$Y_1^4$  - исключение внешнего трения;

$Y_2^4$  - улучшение условий трения;

$Y_3^4$  - равностойкость изнашивающихся элементов матрицы;

$Y_4^4$  - оптимизация формы элементов матрицы;

$Y_5^4$  - компенсация износа;

$Y_6^4$  - резервирование износостойкости;

$Y_7^4$  - индикация износа

$Y_8^4$  - снижение импульсного воздействия на деформируемую заготовку.

Среди способов упрочнения штампованных материалов и деталей матрицы ограничимся поверхностными методами упрочнения, использующих концентрированные потоки энергии  $Y_j^5$ :

$Y_1^5$  - взрывное легирование;

$Y_2^5$  - упрочнение взрывом;

$Y_3^5$  - взрывотермическая обработка (высокоскоростная деформация + термическая обработка);

$Y_4^5$  - электровзрывное легирование;

$Y_5^5$  - взрывная обработка с образованием нанобъемных слоев.

Повторяемость взрывного нагружения (подвода концентрированного потока энергии)  $Y_j^6$ :

$Y_1^6$  - однократное взрывное нагружение;

$Y_2^6$  - многократное взрывное нагружение.

Консистенция источника концентрированного потока энергии (взрывчатого вещества)  $Y_j^7$ :

$Y_1^7$  - прессованный;

$Y_2^7$  - порошкообразный;

$Y_3^7$  - пластический;

$Y_4^7$  - в детонирующем шнуре;

$Y_5^7$  - ионный компонент плазменной струи.

Воздействие концентрированного потока энергии на упрочняемый материал  $Y_j^8$ :

$Y_1^8$  - одностороннее;

$Y_2^8$  - двухстороннее.

Схемы упрочнения  $Y_j^9$ :

$Y_1^9$  - контактный взрыв плоской волной;

$U_2^9$  - контактный взрыв бегущей «косой» волной;  
 $U_3^9$  - кавитационное упрочнение в воде;  
 $U_4^9$  - кавитационное упрочнение в воде сходящимися ударными волнами;  
 $U_5^9$  - деформационное упрочнение взрывом в воде;  
 $U_6^9$  - кавитационное упрочнение сходящимися ударными волнами;  
 $U_7^9$  - упрочнение в плоской ударной волне при метании пластины ударника;

$U_8^9$  - упрочнение бегущей «косой» ударной волной при метании пластины ударника;  
 $U_9^9$  - упрочнение бегущей «косой» ударной волной при метании пластины ударника с легирующим слоем;  
 $U_{10}^9$  - взрывное легирование;  
 $U_{11}^9$  - электровзрывное легирование.

Эти данные сведены в так называемую морфологическую модель рис. 1

Аспекты проблемы	$S_i$	Варианты решения $U_j^i$
Упрочняемая деталь	$S_1$	$y_1^1$ $(y_2^1)$ $y_3^1$ $y_4^1$
Виды изнашивания	$S_2$	$y_1^2$ $(y_2^2)$ $y_3^2$ $y_4^2$ $y_5^2$
Условия упрочнения	$S_3$	$(y_1^3)$ $y_2^3$ $y_3^3$
Способы повышения и обеспечения износостойкости (конструктивные)	$S_4$	$(y_1^4)$ $y_2^4$ $y_3^4$ $y_4^4$ $y_5^4$ $y_6^4$ $y_7^4$ $y_8^4$
Импульсные способы повышения и обеспечения износостойкости (технологические)	$S_5$	$y_1^5$ $(y_2^5)$ $y_3^5$ $y_4^5$ $y_5^5$
Повторяемость подвода концентрированного потока энергии	$S_6$	$(y_1^6)$ $y_2^6$
Консистенция источника энергии	$S_7$	$y_1^7$ $y_2^7$ $(y_3^7)$ $y_4^7$ $y_5^7$
Воздействия концентрированного потока энергии	$S_8$	$(y_1^8)$ $y_2^8$
Схемы упрочнения	$S_9$	$(y_1^9)$ $y_2^9$ $y_3^9$ $y_4^9$ $y_5^9$ $y_6^9$ $y_7^9$ $y_8^9$ $y_9^9$ $y_{10}^9$ $y_{11}^9$

Рисунок 1 – Морфологическая модель технологии упрочнения

Учитывая, что одним из наиболее перспективных практически ценных направлений применения нанотехнологий является получение изделий и полуфабрикатов и изделий из металлов и сплавов, макроструктура которых доведена до такого уровня, что ее составляющие – зерна – имеют один или более размеров порядка несколько сотен или даже десятков нанометров. Такие материалы обладают качественно новым уровнем механических свойств, достичь которые традиционными методами термической, химико-термической и пластической обработки. Помимо этого, эти материалы сохраняют исходную пластичность и вязкость при увеличивающихся в несколько раз показателями прочности и износостойкости. Поэтому, имеет смысл, включения в морфологическую таблицу технологии получения заготовок и изделий с наноструктурными состояниями материала.

Так как в данном исследовании рассматриваются только процессы, связанные с воздействием на поверхность детали концентрированного потока энергии, то при выборе технологии упрочнения ограничимся процессами высокоскоростного соударения, который реализуется в процессах  $U_8^9$ ,  $U_9^9$  и  $U_{11}^9$ . Методы электровзрывного легирования успешно могут использоваться для упрочнения инструментальных материалов и инструментов.

Анализ данной модели показывает, что имеется  $5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 11 = 726$  различных вариантов способов упрочнения. Часть из них практически не осуществима.

Сочетание  $U_2^1$   $U_2^2$   $U_1^3$   $U_2^5$   $U_1^6$   $U_3^7$   $U_1^8$   $U_1^9$  соответствует традиционной технологии упрочнения взрывом. Сочетание  $U_2^1$   $U_2^2$   $U_1^3$   $U_2^5$   $U_1^6$   $U_3^7$   $U_1^8$   $U_1^9$  более эффективный метод взрывотермического упрочнения.

Применение морфологического анализа позволяет выявить практически все варианты взрывного упрочнения и предложить принципиально новые, например, взрывное легирование сходящимися ударными волнами. Однако, в данных производственных условиях наиболее приемлемо и экономически целесообразно использовать деформационное упрочнение взрывом в воде.

Факторы, влияющие на стойкость штампов следующие:

- 1) технологичность конструкции штампуемой детали;
- 2) технологический процесс штамповки;
- 3) конструкция матрицы;
- 4) материалы, применяемые для изготовления штампов;

- 5) качество и технология изготовления матриц;
- 6) условия эксплуатации.

В производственных условиях, связанных с применением импульсных методов металлообработки наиболее целесообразно использовать методы взрывного упрочнения, в частности, деформационное упрочнение взрывом, упрочнение сходящимися ударными волнами.

Среди известных схем упрочнения взрывом, наиболее целесообразно использовать схему упрочнения через передающую среду, в данном случае воду. При разработке методики определения параметров упрочняющей обработки необходимо, прежде всего, выявить преобладающий вид разрушения или нарушения рабочих параметров матриц. На основе анализа производственного опыта выявлены наиболее существенные факторы разрушения штамповой оснастки, необходимые для выбора путей повышения ее стойкости. Выделим основные доминирующие факторы разрушения гравюры матрицы и ее элементов и их важнейшие связи (рис. 2) [2]. В соответствии с предложенной схемой основными разновидностями разрушения штамповой оснастки

[2, 7–11] являются: необратимая пластическая деформация формообразующих элементов, износ, образование трещин, откол, выкрашивание. Согласно данным распределение штамповой оснастки с различными типами матриц для взрывной штамповки по признаку разрушения (табл. 1), долговечность штамповой оснастки для гидровзрывной штамповки можно увеличить, главным образом путем конструктивной прочности и упрочнением гравюры штампа на значительную глубину (более 10 мм).

С целью предотвращения нарушения работоспособности матрицы необходимо достижения определенного комплекса прочностных свойств, которые характеризуются условиями эксплуатации матриц. Для этого на следующем этапе необходимо установить факторы, которые влияют на степень упрочнения металла гравюры матрицы. Анализ литературных источников [1, 2] и производственный опыт позволяет сделать заключение, что на степень упрочнения металлов, прежде всего, влияет величина прикладываемого давления и деформации материала гравюры матрицы.

Таблица 1 – Относительное распределение выбракованной штамповой оснастки (%) по виду разрушения

Вид разрушения	Штамповая оснастка			
	Неразъемные матрицы	Составные матрицы с горизонтальным разъемом	Составные матрицы с вертикальным разъемом и силовым бандажом	Составные матрицы с вертикальным разъемом и силовым корпусом
Деформация элементов гравюры	55	52	50	49
Откол, глубоки трещины	26	10	15	15
Износ	17	14	20	22
Комплексное разрушение	2	24	15	13

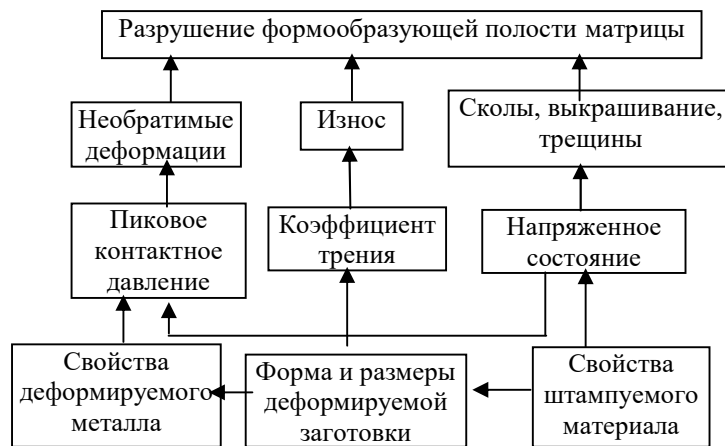


Рисунок 2 – Диаграмма доминирующих факторов разрушения штамповой оснастки гидровзрывной штамповки

Следовательно, наиболее распространенным видом разрушения штамповой оснастки является необратимое формоизменение. Деформация элементов формообразующей поверхности матрицы вызывает увеличение размеров сверхдопустимых и не приемлемо для штампуемых деталей. Интенсивность нарастания необратимых деформация зависит от геометрической формы гравюры штампа, твердости пригравюрного слоя, условий импульсного нагру-

жения, технологии формоизменения (количества переходов, массы и формы заряда, дистанции взрыва). Необратимые деформации включают макроскопические и микроскопические. Последние характерны появлением бороздчатого микрорельефа. Согласно данным из практики эксплуатаций штампов с увеличением твердости стойкость штампов повышается, достигает максимума, а затем падает. Твердость, при которой стойкость штампа максимальна,

соответствует предельной равномерной деформации.

Следовательно, установлено, что основным фактором нарушения работоспособности матриц при гидровзрывной штамповке является возникновение необратимых пластических деформаций при деформировании заготовок. Для предотвращения возникновения необратимых пластических деформаций в материале матрицы необходимо провести упрочняющую обработку формообразующей поверхности матрицы. Это может быть достигнуто путем пластического деформирования этой поверхности. При этом следует руководствоваться следующими положениями [3, 11]:

1) деформационное упрочнение исчерпывается на стадии равномерной деформации, т.е. при  $\varepsilon_1 < \varepsilon_{ip}$ , где  $\varepsilon_1$  – интенсивность деформаций в материале матрицы;  $\varepsilon_{ip}$  – предельная равномерная интенсивность деформации;

2) наиболее интенсивный рост количества и размеров микродефектов в металле наблюдается за пределами равномерной деформации.

Следовательно, при  $\varepsilon_1 = \varepsilon_{ip}$  упрочнение материала близко к предельному, упрочняемый материал практически пластически не деформируется, оптимальная интенсивность деформаций при упрочнении должна быть равна предельной равномерной.

Достаточно точные значения  $\varepsilon_{ip}$  можно определить как из простой зависимости [3, 11]

$$\varepsilon_{ip} = 245 / HD \cdot K_d, \quad (1)$$

где  $HD$  – пластическая твердость материала матрицы (МПа), определяемая по ГОСТ 18835-73;

$K_d$  – коэффициент динамичности материала матрицы. Возможно определение  $\varepsilon_{ip}$  и по динамической диаграмме сжатия (растяжения) упрочняемого материала матриц.

Последовательность определения параметров упрочнения формообразующей поверхности матрицы рекомендуется следующая:

– по динамической диаграмме сжатия (растяжения) определяется предельная равномерная предельная деформация  $\varepsilon_p$  и затем уточняется по зависимости (1). По значению  $\varepsilon_p$  и габаритным размерам матрицы определяем величину заряда для упрочняюще-стабилизирующей обработки по зависимости

$$W = 1,5\sigma_g F \varepsilon_p S^2 D^2, \quad (2)$$

где  $W$  – вес заряда, г;

$\sigma_g$  – временное сопротивление, кг/мм<sup>2</sup>;

$F$  – площадь поверхности гравюры матрицы;

$S$  – толщина деформируемого слоя матрицы;

$D$  – диаметр внутренней поверхности матрицы (наибольший).

Далее производим упрочнение матрицы и замер твердости.

Определяем твердость HB или HRC прибором «Твердомер универсальный Novotest».

После этого пересчитываем твердость по Бригеллю или Роквелу в пластическую твердость HD по зависимости [3, 11]

$$HD = 0,51HB^{1,124}. \quad (3)$$

Далее производим корректировку заряда взрывчатого вещества увеличивая или уменьшая заряд на 5-10 г, до полного соответствия HD предельной равномерной деформации.

Расчетные параметры взрывного нагружения для упрочняюще-стабилизирующей обработки приведены в табл. 2.

В целом этапы разработки методики упрочняющей обработки матрицы можно выразить в следующей последовательности (рис. 3)

Таблица 2 – Рекомендуемые параметры нагружения при упрочняюще-стабилизирующей обработки

	Шифр детали и наименование	Рекомендуемый заряд для упрочняюще-стабилизирующей обработки термообработанной матрицы (г)	Рекомендуемый заряд для упрочняюще-стабилизирующей обработки нетермообработанной матрицы (г)
1	Кожух наружный ВНА КНД	125	180
2	Кольцо внутреннее ВНА КНД	95	160
3	Кожух	150	200
4	Дефлектор входного направляющего аппарата КНД	40	60
5	Ресивер	45	60
6	Обечайка наружная	130	180
9	Кожух	200	220
10	Оболочка центрирующая	55	80
18	Оболочка кока	150	200



Рисунок 3 – Этапы разработки методов управления структурой и свойствами гравюры и материала матриц

В перспективе для упрочнения матриц [4–10], как альтернативный метод термического упрочнения возможно использование фрикционного упрочнения в комбинации с ударными методами и гидроабразивной обработки.

**ВЫВОДЫ.** Наиболее эффективным методом упрочняюще-стабилизирующей обработки матриц и устранения необратимых деформаций формообразующей поверхности является деформационное упрочнение взрывом. Величина заряда подбирается таким образом, чтобы деформации формообразующей поверхности соответствовали продольным равномерным материала матрицы и для деталей матриц ресивер, диафрагма внутренняя, оболочка используется заряд массой 45 г. для деталей матриц оболочка кока, дефлектор, кожух наружный – 150 г, для деталей матриц кожух статора – 200 г и т.д. Контроль качества упрочнения достигается замером твердости и соответствием ее пластической твердости НД при деформациях, соответствующих предельным равномерным. У вновь изготовленных матриц необходимо предусматривать припуск на упрочняющую обработку в пределах  $0,2 \pm 0,6$  мм.

#### A MANUFACTURING METHOD OF THE STABILIZING WORKING OF DIES FOR THE PULSED STAMPING

V. Dragobetsky, E. Naumova, S. Shlyk, R. Peyi, Yu. Salenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradsky National University

vul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: vldrag@kdu/edu.ua

**Purpose.** To development and select the method of the hardening-stabilizing treatment of the die mirror for the hydroexplosive stamping of thin sheet parts of a closed form. **Methodology.** The determination of new technological

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Драгобецкий В.В. Практика и перспективы создания прогрессивных технологий импульсной металлообработки // Сборник трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополе 9–15 сентября. 2002 г. Машиностроение и техносфера XXI века. В 3-х томах. – Донецк: Дон НТУ, 2002. Т.1. – С. 187–191.

2. Взрывная упрочняюще-стабилизирующая обработка крупногабаритных матриц для листовой штамповки / В.Ю. Коцюба, С.Н. Пахолка, С.В. Шлык, В.В. Драгобецкий, А.И. Галаган // Сучасні ресурсо-енергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КНУ, 2015. – Вип. 2/2015 (16). – С. 126–137.

3. Штамповка листовых деталей взрывом на ОАО «Мотор-Сич» / В.А. Богуслаев, О.И. Гавриш, С.А. Стадник // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ, 2007. – Вып. 11/47. – С. 194–195.

4. Многофакторность физических явлений при взрывной металлообработке / В.К. Борисевич, В.В. Драгобецкий, О.В. Троцко // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ, 2007. – Вып. 11/47. – С. 62–73.

5. Excavator bucket teeth strengthening using a plastic explosive deformation / V.V. Dragobetskii, A.A. Shapoval, D.V. Mospan, O.V. Trotsko, V.V. Lotous // Metallurgical and Mining Industry – 2015, No. 4. – P. 363–368.

6. Lotous V., Dragobetskii V. New explosive welding techniques // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – Серія «Машинобудування», 2013. – № 67. – С. 149–154.

7. Mahajan S. Metallurgical effects of planar shock waves in metals and alloys II Phys. status solid; Ser. A 1970. – 2, N 2. – P. 187–200.

8. Shock waves and the mechanical properties of solids / J.J. Burke, W. Weiss. – Syracuse. University Press, 1970. – 417 P.

9. Metallurgical effects at high strain rates / R.W. Rohde, B.M. Butsher, J.R. Holland. C.H. Games. – N. Y.; L.: Plenum Press, 1973. – 699 P.

10. Weertman J. Dislocation mechanics at high strain rates // Metallurgical effects at high strain rate. – N. Y.; L.: Plenum Press. 1973. – P. 319–332.

11. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М.С. Дрозд, М.М. Матлин, Ю.И. Сидякин // М. Машиностроение, 2006. – 224 с.

and physical effects under impulse action can be achieved using specialized methods of a directed synthesis, ordered and disordered search methods, among which the most promising one is the heuristic generalized method. The method of analyzing hierarchies, by paired comparisons, global and local priorities has been used. An analysis of the die operating conditions has been given and prevailing factors affecting the stability of dies have been found out. Physical and technical effects and principles inherent in the hardening treatment have been established and systemized. Based on the analysis of the production experience and schemes of the hardening treatment a method of selection of the way of die hardening has been developed. After the most appropriate method of the hardening treatment had been found, a grounding of the loading parameters during deformation hardening was carried out. Furthermore, on algorithm of controlling the structure and properties of the die material was made. Then an experimental verification of the hardening method effectiveness and mathematical modeling of the die hardening and stabilizing treatment using the finite element method was performed. **Results.** It has been found that the main reason for the die failure during the operation is the occurrence of irreversible plastic deformations of the forming surface. **Originality.** The experimental studies have been performed with a failed die. The modeling was carried out in the ANSYS AUTODYN software package clarifying the calculation results by considering the elastic unloading and unloading waves from the free die surface. The most effective method to eliminate the irreversible deformations of the forming surface of the die is the deformation explosive hardening. **Practical value.** The charge size is selected so that the deformations of the forming surface conform to the limiting uniform ones of the die material. For 600 mm die parts a 45 g charge is used, for 800 mm die parts a 150 g charge is used, for 1,000 mm die parts a 200 g charge is used and so on. References 11, tables 2, figures 3.

**Key words:** die, explosion, dimension stabilization, heat treatment.

#### REFERENCES

1. Dragobetskii, V.V. (2002), "Practice and prospects of creating advanced technologies of pulse metalworking", *Proceedings of the international scientific conference Don NTU [Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI century. The 3 volumes]*, Vol.1, pp. 187–191.
2. Kotsiuba, V.Yu., Pakholka, S.N., Shlyk, S.V., Dragobetskii, V.V., Galagan, A. U. Explosive hardening and stabilizing treatment of a large die for sheet stamping (2015), "Prospective directions for increasing the effectiveness of explosive rock destruction", *Suchasni resurso-enerhozberihayuchi tekhnolohiyi hirnychoho vyrobnytstva*, Iss. 2/2015 (16), pp. 126–137.
3. Boguslayev, V.A., Boguslayev V.A., Gavrish, O.I., Stadnik, S.A. (2007), "Stamping of sheet metal parts by the explosion at "Motor-Sich", *Aerospace technics and technology*, "KHAI" M. Ye. Zhu-kovskiyi National. aerokosm. Univ, Harkiv, vol. 11/47, pp. 194–195.
4. Borisevich, V.K., Dragobetskii, V.V., Trotsko, O.V. (2007), "The many factors of physical phenomena during explosive metal", *Aerospace technics and technology: Scientific and Technical Journal, "KHAI" M. Ye. Zhukovskiyi National. aerokosm. Univ, Harkiv*, vol. 11 (47), pp. 62–73.
5. Dragobetskii, V.V., Shapoval, O. O., Mospan, D. V., Trotsko, O.V., Lotous, V.V. (2015), "Excavator bucket teeth strengthening using a plastic explosive deformation", *Metallurgical and Mining Industry*, no. 4.
6. Lotous, V., Dragobetskii, V. (2013), "New explosive welding techniques", *Journal of mechanical engineering National technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute"*, vol. 67, pp. 149–154.
7. Mahajan, S. (1970), "Metallurgical effects of planar shock waves in metals and alloys", *II Phys. status solid*, no. 2. , pp. 187–200.
8. Burke, J., Weiss, W. (1970), *Shock waves and the mechanical properties of solids*, Syracuse University Press, 417 p.
9. Rohde, R.W., Butsher, B.M., Holland, J.R., Games, C.H. (1973), *Metallurgical effects at high strain rates*, N. Y.; L.: Plenum Press, 699 P.
10. Weertman, J. "Dislocation mechanics at high strain rates", *Metallurgical effects at high strain rate.* – N. Y.; L.: Plenum Press. 1973. – pp. 319–332.
11. Drozd, M.S., Matlin M.M., Sidiyakin, Yu.I. (2006), *Ingenierie rascheti uprugoplasticheskoy kontaktnoy deformacii* [Engineering calculations of elastic-plastic contact deformation], Engineering, Moscow.

Стаття надійшла 19.12.2017.