

УДК 621.318

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ И УДАЛЕНИИ ЛУНОК В СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ ИМИТИРУЮЩИХ КУЗОВНОЕ ПОКРЫТИЕ АВТОМОБИЛЯ

**В.Л. Хавин, профессор, к.т.н., НТУ «ХПИ», Е.А. Чаплыгин, доцент, к.т.н.,
С.А. Шиндерук, аспирант, ХНАДУ**

***Аннотация.** Работа посвящена экспериментальному исследованию механических процессов при образовании и удалении почти сферических лунок в стальных пластинах имитирующих кузовное покрытие автомобиля. В работе описано лабораторное оборудование для создания и удаления вмятин требуемой геометрии в плоских листах требуемой толщины. Приведены результаты экспериментов по созданию и устранению этих вмятин, что дает возможность ориентироваться в выборе параметров электродинамических устройств и установлению пределов их практических возможностей по удалению вмятин в металлических листах.*

***Ключевые слова:** механический процесс, нагрузочное приспособление, плоские стальные листы, кузовное покрытие, вытягивание лунок.*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ УТВОРЕННІ І ВИДАЛЕННІ ЛУНОК У СТАЛЕВИХ ПЛАСТИНАХ ЩО ІМІТУЮТЬ КУЗОВНЕ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЯ

**В.Л. Хавін, професор, к.т.н., НТУ «ХПІ», Є.О. Чаплигін, доцент, к.т.н.,
С.О. Шиндерук, аспірант, ХНАДУ**

***Анотація.** Робота присвячена експериментальному дослідженню механічних процесів при утворенні і видаленні майже сферичних лунок в сталевих пластинах що імітують кузовне покриття автомобіля. У роботі описане лабораторне обладнання для створення та видалення вмятин необхідної геометрії у плоских листах необхідної товщини. Наведені результати експериментів зі створення та усунення цих вмятин, що дає можливість орієнтуватися у виборі параметрів електродинамічних пристроїв і встановленню меж їх практичних можливостей із видалення вмятин в металевих листах.*

***Ключові слова:** механічний процес, навантажувальний пристрій, плоскі сталеві листи, кузовне покриття, витягування лунок.*

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF MECHANICAL PROCESSES FORMATION AND REMOVAL OF HOLE IN A STEEL SHEET SIMULATES THE CAR BODY

**V. Havin, professor, dr. eng. sc., NTU «KhPI», E. Chaplygin, assistant professor,
cand. eng. sc., S. Shinderuk, postgraduate, KhNAHU**

***Abstract.** The work is devoted to the experimental research of the mechanical processes in the formation and removal of nearly spherical holes in steel sheets simulating the car bodies. This paper describes laboratory equipment to create and remove dents desired geometry in flat sheets of desired thickness. Results of experiments on the creation and elimination of these dents shows, it allows navigate the selection of the parameters of electrodynamic devices and the establishment of boundary of their practical ability to remove dents in the metal sheets.*

***Key words:** mechanical process, loading appliance, flat steel sheets, car bodies, extension of holes.*

Введение

Современные обрабатывающие технологии, основанные на использовании энергии импульсных магнитных полей и на традиционных схемах обработки металлов давлением, имеют много общего в конструкторских решениях штамповой оснастки [1].

В технологических системах индуктор-матрица, штамп (пуансон) - матрица создаются условия, при которых металлическая заготовка в процессе нагружения пластически деформируется и приобретает требуемую форму в видовых операциях или разрушается по заданным линиям, плоскостям, поверхностям в разделительных операциях [2].

Одним из перспективных направлений развития магнитно-импульсной разработки металлов является ее применение для восстановления и рихтовки поврежденных кузовных покрытий автотранспортных средств [3].

Проведение экспериментов, по определению усилий необходимых для образования и устранения вмятин требуемой геометрии, механическим способом, в плоских стальных листах разной толщины имитирующих кузовное покрытие автомобиля, даст возможность определить силы необходимые для создания, а главное для устранения вмятин магнитно-импульсным способом.

Анализ публикаций

В доступной литературе посвященной кузовному ремонту не уделяется надлежащего внимания механическим процессам, происходящим при образовании повреждений в кузовных панелях автомобиля. Авторы работ [4, 5] предлагают на основании визуального осмотра мастеру сделать заключение о глубине вмятины и направлении удара повлекшего за собой ее появление. После чего производить ремонт до полного удаления повреждений кузова.

Для создания эффективных инструментов магнитно-импульсной рихтовки кузовных панелей автомобилей данных полученных при визуальном осмотре не достаточно. Необходимо знать усилия, которые надо приложить к обрабатываемой поверхности для устранения той или иной неровности [1, 2].

Исходя из проведенного анализа, следует, что существует необходимость практического определения усилий необходимых для образования и устранения вмятин.

Цель и постановка задачи

Цель настоящей работы – экспериментальное определение усилий необходимых для образования и устранения вмятин требуемой геометрии, в плоских стальных листах разной толщины имитирующих кузовное покрытие автомобиля.

Условия эксперимента и экспериментальная оснастка

Требования, предъявляемые к данному эксперименту, заключаются в получении зависимости между силой P и глубиной $h_{\text{лун}}$ при прямом создании и обратном вытягивании сферических лунок различных диаметров $d_{\text{лун}} = 25...40$ мм в стальных пластинах с толщиной $h = 0,3...1,0$ мм [4,5].

Образование лунки в пластине осуществлялось с помощью сферического индентора-пуансона. Радиус сферической поверхности индентора принимался большим внутреннего радиуса кольца-матрицы на 10%. В соответствии с заданным рядом диаметров лунок были изготовлены кольца-матрицы и сферические инденторы.

Стальные листовые заготовки были выбраны в виде пластин размера 200×250 мм². В таких образцах допускается создание 3-х лунок по большей оси. Тогда исключается взаимовлияние деформаций при образовании соседних лунок и можно осуществить вытягивание лунок.

При прямом образовании лунки процесс нагружения стальной пластины центральной осевой силой заданного значения осуществлялся на специальном приспособлении, схема которого показана на рис. 1. Созданное приспособление в ходе эксперимента закреплялось в направляющих плитах механического пресса.

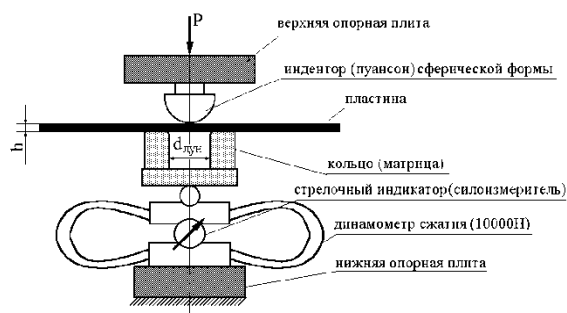


Рис. 1. Схема нагрузочного приспособления для образования сферической лунки в стальной пластине

После создания лунки определенной силой пластина-образец вынималась из нагрузочного приспособления. Глубина образованной лунки измерялась с помощью специального глубиномера, схема которого показана на рис. 2. Использование стрелочного индикатора позволило измерять глубину лунки с точностью 10 мкм.

Для определения усилия для вытягивания лунки использовалось приспособление фирмы Veulentechnik AG [6].

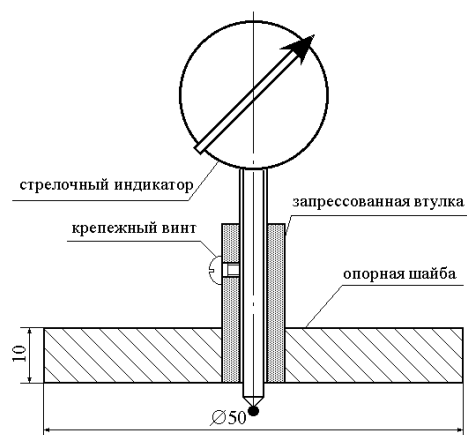


Рис. 2. Схема глубиномера

Предложенное силоизмерительное устройство основано на известном принципе рычажного тензомера [7]. На известном расстоянии от шарнира необходимо жестко расположить индикатор, а затем по его показаниям пересчитать соответствующее усилие при изгибе длинного плеча рычага. При базе расположения индикатора 140 мм была выполнена тарировка измерительного приспособления с помощью стандартных грузов весом 10 Н. Получено, что цена деления равна: 10 мкм на индикаторе соответствует усилию,

прикладываемому к верхнему рычагу 12,8 Н.

Экспериментальные результаты процесса прямого выдавливания сферических лунок в стальной пластине

Испытания проводились по определению остаточных геометрических размеров лунок в стальных пластинах. То есть, не учитывались упругие деформации при деформировании пластины.

Прикладывалась сила фиксированного значения, которое замерялось по поверенному динамометру. Затем пластина вынималась из нагрузочного устройства и замерялась глубина лунки.

При прямом образовании лунок значения силы принимались $P = (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000)$ Н. На пластинах-образцах выдавливалось по три лунки (схема их расположения показана на рис. 3).

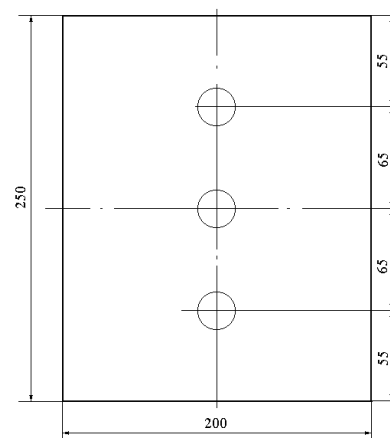


Рис. 3. Схема расположения лунок

В табл. 1, 2 приведены результаты испытаний для стальных пластин толщиной $h = 0,8$ мм.

Таблица 1

Стальная пластина, толщина $h = 0,8$ мм; $d_{\text{лунки}} = 40$ мм						
P , Н	500	1000	1500	2000	2500	3000
$h_{\text{лунки}}$, мм	0,3	1,05	1,5	1,77	2,02	2,37

Таблица 2

Стальная пластина, толщина $h = 0,8$ мм; $d_{\text{лунки}} = 25$ мм						
P , Н	500	1000	1500	2000	2500	3000
$h_{\text{лунки}}$, мм	0,47	1,02	1,71	2,1	2,58	2,98

Для большей иллюстративности эти данные в виде графиков на координатной плоскости P - $h_{\text{лун}}$ приведены на рис. 4.

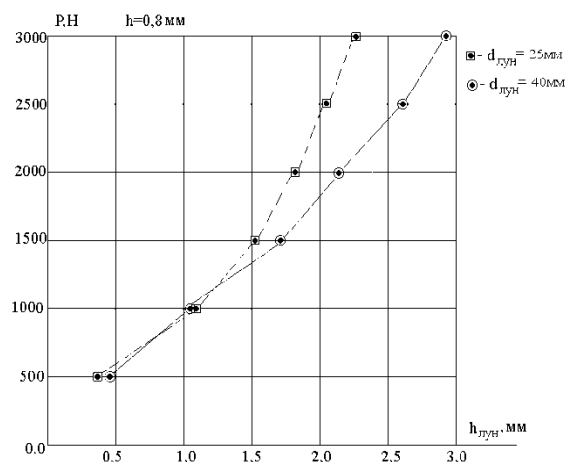


Рис. 4. Зависимость силы выдавливания и глубины лунки в стальной пластине толщиной 0,8 мм

В таблицах 3, 4 приведены данные экспериментов по образованию лунок в стальных пластинах толщиной $h=0,3$ мм.

Таблица 3

Стальная пластина, толщина $h = 0,3$ мм; $d_{\text{лун}} = 25$ мм								
$P, \text{Н}$	100	220	440	660	1100	1300	1500	2200
$h_{\text{лун}}, \text{мм}$	0,16	0,45	0,73	1,02	1,41	1,67	1,79	2,2

Таблица 4

Стальная пластина, толщина $h = 0,3$ мм; $d_{\text{лун}} = 40$ мм						
$P, \text{Н}$	220	660	1000	1500	2000	2200
$h_{\text{лун}}, \text{мм}$	0,1	1,02	1,71	2,3	2,9	потеря устойчивости

Так как, пластина достаточно тонкая, при образовании лунок с относительно большой глубиной, возможна потеря устойчивости плоской формы пластины. Этот факт имел место при выдавливании лунки диаметром 40 мм.

В табл. 5 приведены результаты экспериментов по образованию лунок диаметром 25 мм в пластинах толщиной 1 мм.

Таблица 5

Стальная пластина, толщина $h = 1,0$ мм; $d_{\text{лун}} = 25$ мм				
$P, \text{Н}$	1000	1500	2000	2500
$h_{\text{лун}}, \text{мм}$	0,6	0,93	1,23	1,68

Для наглядности и возможности сравнения, полученных результаты измерений для лунок одинакового диаметра в пластинах разной толщины приведены на рис. 5, 6.

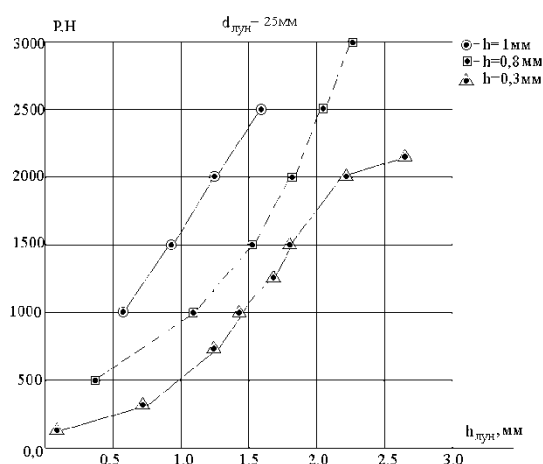


Рис. 5. Зависимости силы выдавливания и глубины лунки диаметром 25 мм в стальных пластинах разной толщины

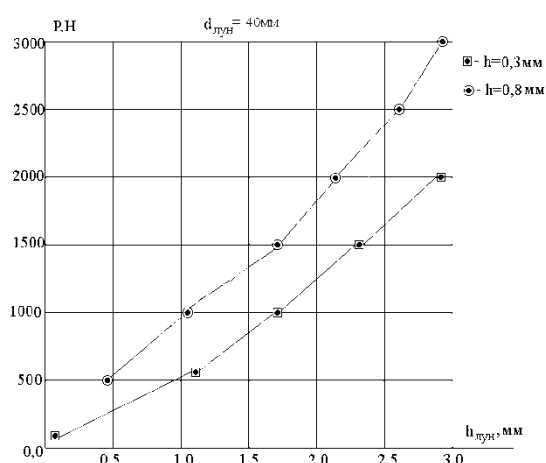


Рис. 6. Зависимости силы выдавливания и глубины лунки диаметром 40 мм в стальных пластинах разной толщины

Как следует из измерений, с уменьшением толщины пластины снижается значение силы, приводящей к образованию сферической лунки. так, для образования лунки глубиной

1,5 мм сила выдавливания для пластин указанных размеров попадает в диапазон $P = (1100...2300) \text{ Н}$.

Существенное расхождение в значениях сил выдавливания (более чем в два раза) связано с увеличением цилиндрической жесткости пластины, которая пропорциональна кубу ее толщины.

Некоторое качественное отличие в картине деформирования для пластины толщиной 0,3 мм объясняется возникающими процессами ее коробления при формоизменении, что приводит в конечном итоге к большим погрешностям при замере глубины образованной лунки по сравнению с определением глубин при больших толщинах. Более того, при силах выдавливания, приводящих к значительным глубинам сферических лунок ($h_{\text{лун}} > 2 \text{ мм}$) процесс деформирования для прямого образования лунки сопровождается значительным короблением краев пластины около границы лунки.

Последняя зависимость показывает, что при образовании лунок диаметром 40 мм значения сил выдавливания при формоизменении снижаются. Нижняя граница силы необходимой для образования лунки глубиной 1,5 мм достигает значения 800 Н для пластины толщиной 0,3 мм.

Экспериментальные результаты процесса прямого вытягивания сферических лунок в стальной пластине

Как было ранее указано, при определении усилия, необходимого для вытягивания лунок, использовалось приспособление фирмы Beulentechnik AG.

На длинном верхнем плече рычага расположено силоизмерительное устройство, принципиальная схема которого показана на рис. 7.

При соотношении плеч рычага 1 : 3 усилие вытягивания лунки в три раза превышает усилие, прикладываемое к длинному плечу рычага. Особенностью предложенного силоизмерительного устройства является требование достаточно четкой визуальной фиксации процесса устранения лунки.

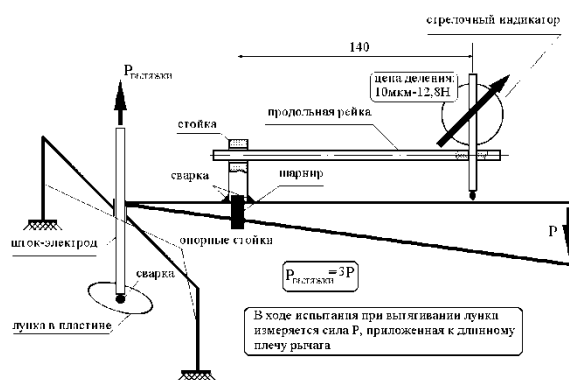


Рис. 7. Схема измерения усилий при вытягивании лунки на основе приспособления фирмы Beulentechnik AG.

Первое, что следует отметить, это ограниченность возможностей использованного экспериментального оборудования. Речь идёт о получении данных в диапазоне усилий и геометрий исследованных объектов, аналогичных эксперименту по выдавливанию вмятин в стальных листах.

В образцах пластин с толщиной 0,3...0,5 мм приварить электрод ко дну вмятины оказалось практически не возможным.

Относительно надёжное соединение электрода и вмятины было осуществлено в листах с толщиной ~ 1 мм. В этом случае непрерывные усилия по вытягиванию удалось поднять до ~ 1500 Н. Дальнейшее непрерывное повышение действующей силы в диапазоне 1500...2000 Н приводило к отрыву электрода от металла вмятины. Соответствующие измерения в этом диапазоне усилий имели неустойчивый характер. Они могут рассматриваться как весьма приближённые и отражающие лишь качественную сторону исследованного вопроса.

Следует отметить, что вытягивание вмятин последовательным повышением (несколько подходов с небольшими перерывами) амплитуды прикладываемой силы, возможно, осуществить при меньшем результирующем усилии. Однако, эти ситуации требуют отдельного исследования, поскольку здесь возникают специфические вопросы о длительности, силовом диапазоне и о необходимой частоте подходов к реализации заданной производственной операции.

В табл. 6 приведены результаты экспериментов по вытягиванию лунок диаметром 25 мм

в пластинах толщиной 1 мм.

Таблица 6

Стальная пластина, толщина $h=1,0\text{мм}; d_{\text{лун}}=25\text{мм}$		
$P, \text{Н}$	1300	1900
$h_{\text{лун}}, \text{мм}$	0,6	0,93

Практически достоверными результатами проведенных экспериментов можно считать увеличение на ~ 30 % амплитуды необходимых усилий по вытягиванию вмятины по сравнению с её вдавливанием.

Выводы

Для реализации процесса вдавливания лунок различного диаметра ~ 25...40 мм в стальных образцах толщиной 0,3...0,8 мм необходимы статические усилия в диапазоне ~ 250...4000 Н.

Удаление вмятин соответствующей геометрии потребует усилий, превышающих усилия по вдавливанию на ~ 30%. Данная цифра даёт основания предполагать, что необходимые силы будут находиться в пределах ~ 330...5200 Н.

Полученные результаты характеризуют процесс образования и удаления вмятин в статическом непрерывном режиме воздействия. Они позволяют ориентироваться в выборе параметров электродинамических устройств и установлению пределов их практических возможностей по удалению вмятин в металлических листах. Вопрос о динамических усилиях требует отдельного экспериментального исследования.

Литература

1. Батыгин Ю. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Батыгин Ю. В., Лавинский В. И., Хименко Л. Т. – Т. 1.; под ред. проф. Ю.В. Батыгина. – [2-е изд.] – Харьков: МОСТ-Торнадо, 2003. – 288 с.

2. Туренко А. Н. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями: монография / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 240 с. – 25 ил. – Тираж 300 экз. – ISBN 978-966-303-263-4.
3. Батыгин Ю. В. Физические основы возможных направлений развития магнитно-импульсной обработки тонкостенных металлов / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хименко // *Электротехніка і електромеханіка*. – Харків, 2004. – № 2. – С. 80-84.
4. Синельников А. Ф. Кузова легковых автомобилей: обслуживание и ремонт / Синельников А. Ф., Штоль Ю. Л., Скрипников С. А. – М.: Транспорт, 1995. – 256 с.
5. Шкунов И. В. Кузовной ремонт в гараже : [иллюстрированное практическое пособие] / И.В. Шкунов. — М : ООО“Мир Автокниг”, 2009. — 136 с.
6. Пат. US 2008/0163661 A1 USA (США). Dent removing method and device / Meichtry Ralph, Kouba Ivan; заявитель и патентообладатель Ostrolenk faber gerb & soffen, New York. – № 11/910,788; заявл. 11.05.2006; опубл. 10.07.2008.
7. Дарков А.В. Соппротивление материалов / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. — М : Высшая школа, 1969. — 734 с.

Рецензент: Ю.В. Батыгин, д.т.н., профессор ХНАДУ

Статья поступила в редакцию 7 октября 2013 г.