

следовательских работ. Особое внимание здесь следует уделить разработке и изготовлению датчиков для определения формы заготовки в полости матрицы и положения фланцев на протяжных поверхностях, так как они являются ключевыми элементами для успешной реализации этого проекта.

**Список литературы:** 1. *Наугольных, К.А.* Электрические разряды в воде [Текст] / *К.А. Наугольных, Н.А. Рой.* – М.: Наука, 1971. – 155 с. 2. *Князев, М.К.* Формирование требований к системе управления прессом для электрогидроимпульсной листовой штамповки [Текст] / *М.К. Князев, Ю.В. Процан* // XVII Международный конгресс двигателестроителей 14-19 сентября 2012 г.: тез. докл. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2012. – С. 143.

*Надійшла до редколегії 10.10.2012.*

УДК 621.7.044

**Концепция электрогидравлического прессы с интеллектуальной системой управления / Князев М. К., Процан Ю. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №46(952). – С. –63-66. – Бібліогр.: 2 назв.**

Виконано аналіз факторів, що викликають нестабільність формоутворення листових деталей при електрогідроімпульсному штампуванні (ЕГШ), а також способи вирішення цієї проблеми. Сформульовано концепцію пресу ЕГШ з інтелектуальною системою управління, що передбачає застосування зворотного зв'язку – системи вимірювання форми заготовки на послідовних етапах формоутворення.

**Ключові слова:** електрогідроімпульсне штампування, інтелектуальна система управління.

Analyses of factors that cause instability of sheet parts forming at electrohydraulic impulse forming (EHF) as well as methods for solution of this problem are performed. Conception of an EHF press with intelligent control system that includes feedback – measurement system of a sheet blank shape along sequent forming stages is formulated.

**Keywords:** electrohydraulic impact forming, intelligent control system

УДК 621.73.06-52

**О. А. КОВАЛЕНКО**, ст. преподаватель, ДонГТУ, Алчевск  
**П. В. БОРОВИК**, канд. техн. наук, доц., ДонГТУ, Алчевск

### **АНАЛИЗ ИСХОДНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ УПРОЧНЕНИИ ВАНАДИЕМ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ**

В результате обработки экспериментальных данных по определению качества поверхностных слоев стали У8А, упрочненной электроискровым легированием, получены зависимости механических свойств упрочненной поверхности, глубины, слоя от исходной шероховатости поверхности до нанесения покрытия. При проведении моделирования напряженно – деформированного состояния рабочих кромок разделительных штампов методом конечных элементов получены зависимости напряжений, возникающих на поверхности режущих кромок разделительных штампов при различной исходной шероховатости.

**Ключевые слова:** шероховатость поверхности, напряженно-деформированное состояние, микротвердость, модуль нормальной упругости, упрочнение электроискровым легированием, глубина слоя.

Достижение высокой прочности и износостойкости поверхности рабочих деталей штампов в большой степени зависит от исходных свойств поверхностных слоев, сформированных при их изготовлении с помощью упрочняющих технологий, в частности методами электроискрового легирования.

Одним из факторов, определяющих стойкость инструмента, принято считать в первую очередь микротвердость упрочненной поверхности, которая непосредственно зависит от микроструктуры слоя. Кроме того, в процессе эксплуатации существенное влияние на процессы изнашивания оказывает и шероховатость полученной поверхности (особенно на первых этапах приработки инструмента). Общепринятым считается тот

факт, что шероховатость обработанной поверхности должна быть как можно меньше [1, 2 и др.]. Однако в работах [3, 4] авторами рассматривается вопрос о специальном созда-

© О. А. Коваленко., Боровик П. В., 2012  
нии определенной шероховатости (при нанесении рисок с определенными размерами и направлением на рабочую поверхность инструмента – пуансона), что приводит к повышению стойкости.

При проведении работ по упрочнению поверхности стали У8А методом электроискрового легирования ванадием на себя обратил внимание тот факт, что при достаточно низких значениях исходной шероховатости поверхности материала перед обработкой конечная шероховатость получается высокой. Затем по мере увеличения исходной шероховатости конечная шероховатость снижается до значений 4,5- 5,0 мкм, а затем снова происходит ее увеличение (рис. 1).

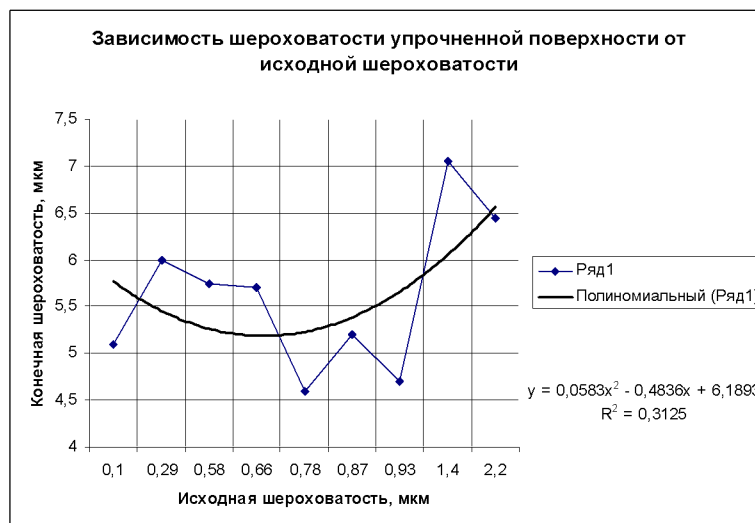


Рис 1. – Зависимость шероховатости упрочненной поверхности от исходной шероховатости

Это может быть связано с тем, что при высокой исходной шероховатости происходит заполнение неровностей расплавленным материалом анода. В свою очередь на гладкой поверхности при электроискровом легировании образуются неровности, вызванные расплавлением и кристаллизацией материала анода, что приводит к ухудшению качества поверхности [5].

Таким образом, можно предположить, что при получении слоев с различной шероховатостью поверхности, различными могут быть структурные и механические характеристики упрочненной поверхности, которые влияют на формирование напряженно-деформированного состояния (НДС) рабочей поверхности инструмента в процессе выполнения разделительных операций.

Целью данной работы является исследование влияния исходной шероховатости материала, упрочняемого ванадием методом электроискрового легирования на напряженно-деформированное состояние инструмента в процессе эксплуатации с учетом формирования поверхностного слоя и его механических характеристик.

Для достижения указанной цели производилась оценка НДС инструмента, с нанесенным упрочняющим покрытием на базе моделирования методом конечных элементов. Для проведения такой оценки была разработана конечно-элементная математическая модель с использованием программного комплекса Abaqus, описание которой приведено в работах [6, 7].

При оценке НДС рабочих поверхностей пуансона и матрицы во внимание принимались:

- исходная и конечная шероховатость упрочненной поверхности;
- микротвердость поверхностного слоя и, ее распределение по всей глубине слоя;
- величины участков упрочненного слоя – нетравящейся «белой» зоны, зоны с высокой твердостью и модулем упругости и переходной зоны.

По результатам проводившихся ранее исследований [5, 8] было установлено, что величина микротвердости для разных значений шероховатости существенно отличается друг от друга (рисунок 2) и имеет максимальные значения при исходной шероховатости – 0,7 – 0,95 мкм. Изменение микротвердости в этом случае может быть связано с качеством полученного упрочненного слоя – его сплошностью, структурой, пористостью.

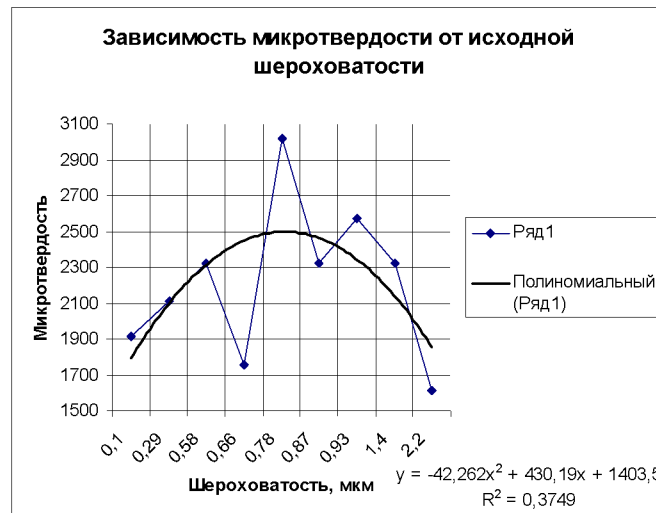


Рис 2. – Зависимость микротвердости от исходной шероховатости обрабатываемой поверхности

На процесс изнашивания оказывает влияние не только рабочая поверхность упрочненного инструмента, но и весь упрочненный слой в целом, который можно условно разбить на три участка, перечисленные выше. Структура, свойства и роль каждого из этих участков в создании НДС различны. Так, например, «белый» нетравящийся участок обладает максимальной твердостью и его функция защитить рабочую поверхность от износа на первом этапе приработки. Участок с высокой твердостью и модулем упругости замедляет износ на второй стадии – стадии замедленного износа. Для всех участков упрочненного слоя можно проследить некоторые закономерности. С одной стороны, при исходной шероховатости 0,7 – 0,95 мкм величины участков с высокой твердостью и нетравящихся участков меньше, чем при других шероховатостях. Однако для указанной шероховатости больше процент переходной зоны, в которой в процессе эксплуатации происходит частичное перераспределение напряжений, что положительно сказывается на износостойкости материала (рисунок 3).

Перечисленные выше факторы в конечном итоге оказывают влияние на НДС поверхностных слоев рабочих кромок пуансона и матрицы при выполнении разделительных операций листовой штамповки.

Для оценки НДС рабочей поверхности разделительных инструментов (пуансона и матрицы) в различных условиях использовали показатель напряженного состояния:

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_i}{\sigma_T},$$

где  $\sigma_i$  – эквивалентное напряжение по Мизесу;

$\sigma_T$  – предел текучести материала (упрочненной поверхности).

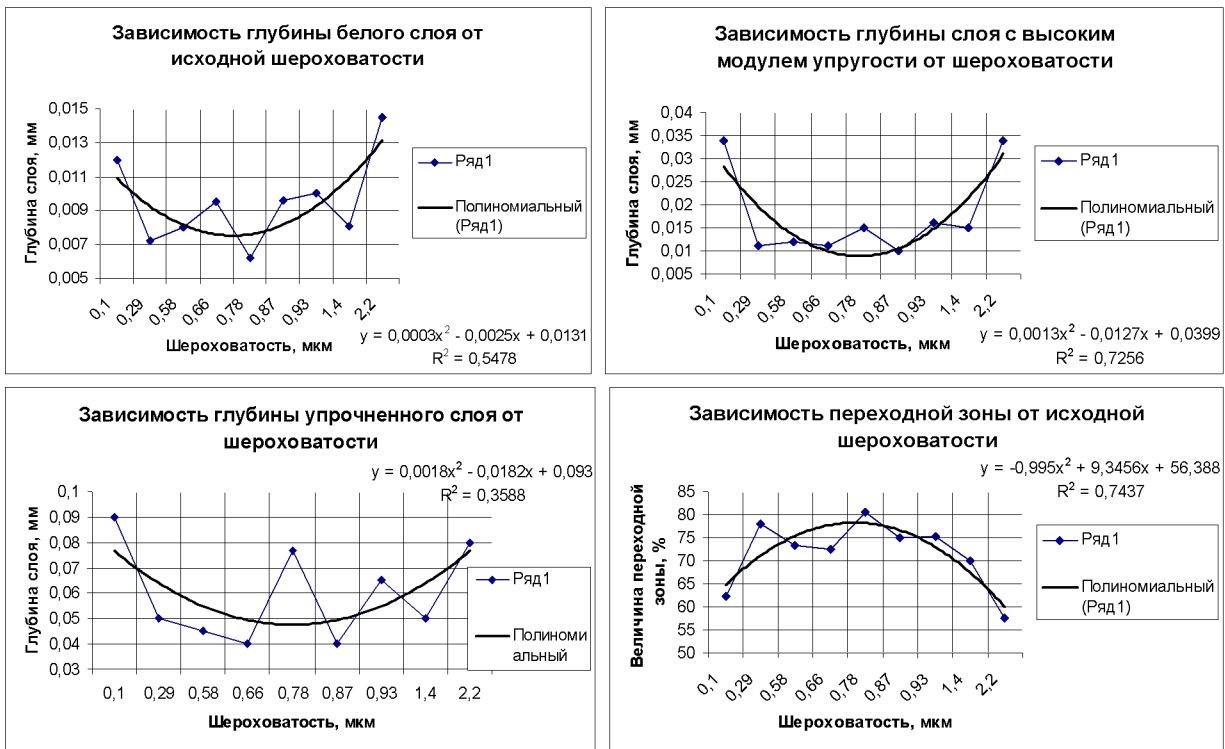


Рис 3. – Зависимость величины различных зон упрочненной поверхности от исходной шероховатости обрабатываемого материала

Значения предела текучести упрочненной рабочей поверхности, состоящей преимущественно из карбидов и нитридов ванадия и железа, а также твердого раствора ванадия в железе приняты прочностные характеристики твердых сплавов типа ТК [9].

Результаты оценки механических свойств упрочненного слоя и величины показателя напряженного состояния на рабочей поверхности инструментов по результатам конечно–элементного моделирования представлены в таблице 1.

В итоге наименьшие значения показателя напряженного состояния ( $K_\sigma < 1$ ) на поверхности упрочненного слоя для пуансона соответствуют исходной шероховатости 0,66 – 0,9 мкм (рис. 4 а), что хорошо согласуется с высокими значениями микротвердости и модуля нормальной упругости поверхностного слоя именно в указанном диапазоне исходной шероховатости, а также результатами металлографического анализа.

Значения показателя напряженного состояния на упрочненной поверхности матрицы (рис. 4 б) несколько отличаются от результатов, полученных для пуансона, что может быть связано с различными условиями нагружения матрицы и пуансона в процессе разделения материала. В тоже время, следует отметить, что в том же диапазоне исходной шероховатости значения  $K_\sigma$  в упрочненном слое матрицы также близки к минимальным значениям.

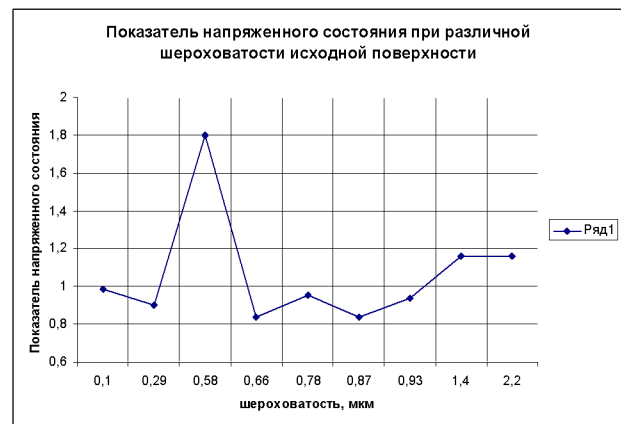
Таким образом, на основании полученных результатов, можно утверждать, что при подготовке поверхности к упрочнению ванадием методом ЭИЛ для рабочих поверхностей пуансона и матрицы целесообразно рекомендовать обработку до значений шероховатости в диапазоне 0,7 – 0,9 мкм.

Таблица 1. - Характеристики упроченной поверхности при различной величине исходной шероховатости

Шероховатость до нанесения покрытия, мкм	Шероховатость после нанесения покрытия, мкм	Глубина белого слоя, мм	Глубина слоя с высоким модулем упругости, мм	Глубина упрочненного слоя, мм	Микротвердость поверхности, Нц	Модуль упругости поверхности, МПа	Показатель напряженного состояния на поверхности пуансона	Показатель напряженного состояния на поверхности матрицы
0,1	5,1	0,012	0,034	0,09	1918	281	0,98	0,988
0,29	6	0,0072	0,011	0,05	2110	301	1,8	0,9
0,58	5,75	0,008	0,012	0,045	2320	315	1,88	1,8
0,66	5,7	0,0095	0,011	0,04	1760	281	0,62	0,84
0,78	4,6	0,0062	0,015	0,077	3019	411	0,8	0,952
0,87	5,2	0,0096	0,01	0,04	2320	316	0,66	0,84
0,93	4,7	0,01	0,016	0,065	2568	349	0,952	0,936
1,4	7,05	0,0081	0,015	0,05	2320	316	1,36	1,16
2,2	6,45	0,0145	0,034	0,08	1610	258	1,1	1,16



а)



б)

Рис. 4. – Значения показателя напряженного состояния: а - на поверхности упрочненного слоя пуансона; б - на поверхности упрочненного слоя матрицы по результатам моделирования

**Выводы:**

1. По результатам оценки НДС инструмента, с нанесенным упрочняющим покрытием, на базе моделирования методом конечных элементов, минимальные значения показателя напряженного состояния ( $K_\sigma < 1$ ) на поверхности упрочненного слоя соответствуют исходной шероховатости 0,7 – 0,9 мкм, что хорошо согласуется с другими характеристиками поверхностного слоя именно в указанном диапазоне исходной шероховатости.

2. Таким образом, на основании полученных результатов, можно утверждать, что при подготовке поверхности к упрочнению ванадием методом ЭИЛ для рабочих поверхностей пуансона и матрицы целесообразно рекомендовать обработку до значений шероховатости в диапазоне 0,7 – 0,9 мкм.

3. Данное исследование не несет законченный характер, а может служить фундаментом для последующих исследований с целью оптимизации процесса по критериям стойкости инструмента и расходу энергии.

**Список литературы:** 1. Мамедов З.Г., Тагиев Э.А., Каграманов И.К. Влияние поверхностного упрочнения на износостойкость рабочих деталей штампов холодного деформирования. – Кузнечно-штамповочное производство. 1980, № 4, с. 21-22. 2. Аксенов Л.Б., Петров В.М., Кудряшов А.Е. Повышение износостойкости штампов из стали 5ХНМ методом электроискрового легирования. – Кузнечно-штамповочное производство. 2011, № 2, с. 33 – 38. 3. Тимощенко В. А. Повышение износостойкости разделительных штампов. – Кузнечно-штамповочное производство. 2000, № 12, с. 22. 4. Тимощенко В.А., Брухис М.М. Исследование влияния шероховатости поверхности контактной зоны разделительных штампов на их износостойкость. – Вестник машиностроения. 1988, № 3, с. 44-47. 5. Коваленко О. А. Исследование влияния исходной шероховатости инструмента, упрочняемого электроискровым легированием на износостойкость штампового инструмента. – Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Алчевск, 2011, № 35, с. 228-234. 6. Луценко В.А., Коваленко О.А., Боровик П.В. Анализ напряженного состояния поверхности разделительного инструмента после упрочнения электроискровым легированием. – Сборник научных трудов «Обработка материалов давлением». ДДМА, Краматорск, 2011, № 1 (26), с. 227-231. 7. Луценко В. А., Коваленко О.А., Боровик П.В. Кончено – элементное моделирование разделительных операций листовой штамповки. – Сборник научных трудов «Обработка материалов давлением». ДДМА, Краматорск, 2011, № 3 (24), с. 15-19. 8. Боровик П. В., Коваленко О.А. Оценка механических свойств упрочненного слоя для исследования напряженно – деформированного состояния рабочей поверхности разделительных штампов. – Сборник научных трудов «Обработка материалов давлением». ДДМА, Краматорск, 2011, № 4 (29), с. 192-197. 9. Киффер Р. Твердые сплавы. – М. Металлургия, 1971, 388 с.

*Надійшла до редколегії 25.10.12*

УДК 621.73.06-52

**Анализ исходной шероховатости рабочей поверхности инструмента при упрочнении ванадием методом электроискрового легирования / Коваленко О. А. Боровик П. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №46(952). – С. 66-71. – Бібліограф.: 9.**

В результаті обробки експериментальних даних по визначенню якості поверхневих шарів сталі У8А, зміцненої електроіскровим легуванням, отримані залежності механічних властивостей зміцненої поверхні, глибини шару від початкової шорсткості поверхні до нанесення покриття. При проведенні моделювання напружено – деформованого стану робочих кромek розділових штамів методом кінцевих елементів отримані залежності напруг, які виникають на поверхні ріжучих кромek розділових штамів при різній початковій шорсткості.

**Ключові слова:** шорсткість поверхні, напружено – деформований стан, мікротвердість, модуль нормальної пружності, зміцнення електроіскровим легуванням, глибина шару.

As a result of experimental data processing for determination the quality of superficial layers for steel grade У8А hardened by the electric spark alloying, there were obtained the relations of mechanical properties of the hardened surface, depths of layer depending on the initial roughness of surface up to over coating. When modeling the stress-strain state of working edges of dividing stamps using the method of finite elements the stress relation curves are obtained which appear on the surface of cutting edges of dividing stamps at different initial roughness.

**Keywords:** roughness of surface, tensely-deformed state, microhardness, module of normal resiliency, work-hardening electric spark alloying, depth of layer.

УДК 621.73

**В. В. КУХАРЬ**, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь;  
**Б. С. КАРГИН**, канд. техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь;  
**Р. С. НИКОЛЕНКО**, магистрант, ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ ВЫПУКЛЫМИ ПЛИТАМИ С ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОМ НАГРУЗКИ**

Выполнено конечно-элементное моделирование процесса осадки выпуклыми плитами при фиксированном значении эксцентриситета осей заготовки и инструмента. Получены и проанализированы графические зависимости макропоказателей формoизменения профилированных заготовок от степени обжатия при установленном эксцентриситете и различных величинах отношения радиуса выпуклости плит к диаметру заготовки.

© В. В.Кухарь, Б. С. Каргин; Р. С. Николенко, 2012