

doi: 10.32620/oikit.2019.84.05

УДК 621.73.073:621.785.5:620.178.1

Е. А. Фролов, В. В. Агарков,  
С. И. Кравченко, Н. В. Верещага

## **Определение влияния материала и химико-термической обработки на износостойкость элементов универсально-сборных переналаживаемых штампов**

*Полтавский национальный технический университет  
имени Юрия Кондратюка*

*Государственное предприятие «Харьковстандартметрология»  
Полтавский политехнический колледж Национального технического  
университета «ХПИ»*

Приведены результаты экспериментальных исследований износостойкости металлов в целях выбора наиболее эффективного для изготовления направляющих элементов универсально-сборных переналаживаемых штампов. Для определения влияния материала и химико-термической обработки их на износостойкость направляющих колонок проведены исследования по выбору оптимальной пары трения в условиях, приближенных к условиям эксплуатации штампов на производстве. Образцы для испытаний выполнены в виде срезов из сталей 20, 12ХНЗА, 40Х и 38ХМЮА. Лабораторные испытания проведены на машине МИ-1М под нагрузкой 50, 75 и 100 кгс при площади контакта, равной 243 мм<sup>2</sup>. Величину износа определяли весовым методом Крагельского И. В.

Перед испытанием на износостойкость образцы подвергались термической и химико-термической обработке: Сталь 20 (цементация, нормализация, закалка, отпуск), 12ХНЗА (цементация, высокий отпуск, закалка, отпуск), 40Х (закалка, отпуск, азотирование) и 38ХМЮА (закалка, отпуск, азотирование).

Исследования микроструктуры и микротвердости испытуемых образцов показали, что азотирование образца из стали 38ХМЮА и 40Х свой износ соответственно уменьшается на 1...2 мкм и 2...3 мкм, а микротвердость обоих материалов снижается на 50...100 Нм. Анализ графиков интенсивности износа от количества циклов показал, что для всех образцов существует два периода изнашивания (1 – приработка трущихся поверхностей, 2 – установившийся износ), а также установлено, что поверхностный слой азотированных образцов на стали 38ХМЮА имеет более высокую износостойчивость и незначительную склонность к заеданию и схватыванию, обеспечивая высокое сопротивление детали износу при различных условиях трения.

Результаты испытаний образцов под различной нагрузкой показали, что величина линейного износа пропорциональна изменению величины удельного давления. Установлено, что наиболее эффективным материалом для изготовления направляющих элементов для УСПШ является сталь 38ХМЮА при следующей термической и химико-термической обработке (закалка – 940...950 °С, отпуск – 650 °С и азотирование – 540°С).

**Ключевые слова:** износостойкость, химико-термическая обработка, направляющие элементы, универсально-сборный переналаживаемый штамп, микроструктура, микротвердость.

### **Введение**

Одним из основных направлений в развитии кузнечно-штамповочного производства является дальнейшее расширение области применения листовой штамповки, как высокопроизводительного и малотрудоемкого способа обработки металлов, обеспечивающего высокую производительность и низкую трудоемкость штампуемых деталей.

В условиях многономенклатурного производства при дискртенонестабильных программах выпуска изделий для технического оснащения операций листовой штамповки (вырубка, пробивка, гибочные операции) целесообразно применять универсально-сборные переналаживаемые штампы (УСПШ) со сменными пакетами многократного применения.

### **Постановка проблемы и анализ последних исследований**

В системе УСПШ заложена автономная система направления, позволяющая проводить установку направляющих элементов в нужных с технологической и конструктивной точек зрения местах базовых плит. Для обеспечения строгого совмещения пуансона и матрицы необходима высокая точность исполнения и установки направляющего блока [1 – 6].

Работоспособность и долговечность УСПШ во многом зависит от жесткости и прочности направляющих элементов и их износостойкости [7].

Однако в литературе вопросам выбора материала для изготовления направляющих элементов УСПШ уделено недостаточное внимание. В связи с этим особое значение приобретает правильный выбор оптимальных и научно обоснованных конструктивных параметров элементов УСПШ и материалов для их изготовления.

Цель работы – определение влияния материала и химико-термической обработки на износостойкость направляющих элементов УСПШ.

Эксплуатация УСПШ связана с многократным скольжением направляющей втулки относительно колонки. Долговечность направляющих элементов, под которой понимают её способность работать в течение определённого времени, чаще всего определяется не поломками колонок и втулок, а износом их поверхностей, т.е. изменением их размеров под влиянием трения.

В результате износа теряется точность взаимного перемещения направляющей колонки относительно втулки, увеличивается односторонний зазор между матрицей и пуансоном, резко возрастают односторонние изгибающие моменты, что может привести к "зарубанию" режущих частей и выходу из строя штампа.

Процесс штамповки сопровождается износом направляющих элементов, что требует изготовления последних из износостойких материалов.

Для определения влияния материала и химико-термической обработки на износостойкость направляющих элементов нами были проведены исследования в целях выбора оптимальной пары трения в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации штампов.

Исследованы образцы из сталей 20, 12ХНЗА, 40Х, 38ХМЮА. Для этого из исследуемых марок стали были изготовлены образцы, которые представляют собой диски диаметром 40 мм, толщиной 10 мм и колодочки с дугой обхвата 24,3 мм (рис. 1).

Лабораторные испытания проводили на машине МИ-1М, предназначенной для испытания материалов на износ.



Рис. 1. Образцы для испытания на износ

Лабораторные испытания проводили под нагрузкой 50, 75 и 100 кгс, при площади контакта  $S = 243 \text{ мм}^2$  удельное давление составило  $P_1 = 20 \text{ кгс/см}^2$ ,  $P_2 = 30 \text{ кгс/см}^2$ ,  $P_3 = 49 \text{ кгс/см}^2$ .

Перед испытанием каждая пара деталей подвергалась приработке в течение 25000 циклов.

Величину износа определяли весовым методом на аналитических весах с точностью 0,0001 г через каждые четыре часа работы.

Образцы работали в паре с контртелом из стали ШХ15, термически обработанным до  $HRC = 60$  ед. Испытывали по три пары образцов. Интенсивность износа образцов оценивали по весу и линейному износу методом Крагельского И.В. [8].

Величину линейного износа по потере веса определяли путём вычислений, основанных на предположении, что износ происходит равномерно по поверхностям трения. Линейная характеристика износа представляет собой высоту изношенного слоя. Весовой износ пересчитывается в линейный по формуле

$$Jq = \frac{Q}{S \cdot \gamma \cdot 10^4}, \quad (1)$$

где  $Q$  – весовой износ, г;  $S$  – площадь поверхности трения,  $\text{см}^2$ ;  $\gamma$  – удельный вес материала,  $\text{г/см}^3$ .

При определении силы трения принимали, что на участках контакта толщина масляной плёнки " $h$ " очень мала по сравнению с радиусом контртела и, следовательно, отдельные участки масляной плёнки можно рассматривать как плоскопараллельные, т.е. пренебречь их кривизной.

Тогда сила трения, действующая на такой участок, определяется как

$$F_{TP} = f \cdot S \frac{V}{n} = 2\pi f S \frac{R}{h} n, \quad (2)$$

где  $V$  – окружная скорость вращения контртела;  $n$  – число оборотов в единицу времени;  $S$  – площадь касания;  $h$  – толщина масляной плёнки;  $f$  – коэффициент трения.

Момент трения

$$M_{TP} = fPRAa, \quad (3)$$

где  $P$  – нагрузка;  $R$  – плечо приложения нагрузки, равное радиусу ролика контртела;  $Aa$  – номинальная площадь касания образцов.

Исходя из момента трения, который регистрируется на машине МИ-1М, находим коэффициент трения.

Путь трения переводим в количество циклов. Перед испытаниями на износостойкость образцы подвергались термической и химико-термической обработке по режимам, указанным в табл. 1.

Таблица 1

## Режимы термической обработки

| Марка стали | Наименование термической и химико-термической обработки | Режим                |                | Примечание                                    |
|-------------|---------------------------------------------------------|----------------------|----------------|-----------------------------------------------|
|             |                                                         | Температура процесса | Время выдержки |                                               |
| 20          | Цементация                                              | 930°C                | 5 ч            | Глубина цементации<br>0,8...1,0 мм<br>56...62 |
|             | Нормализация                                            | 880°C                | 20 мин         |                                               |
|             | Закалка                                                 | 780...800°C          | 15...20 мин    |                                               |
|             | Отпуск                                                  | 180°C                | 30 мин         |                                               |
| 12ХН3А      | Цементация                                              | 930°C                | 5 ч            | Глубина цементации<br>0,8...1,0 мм<br>56...62 |
|             | Высокий отпуск                                          | 680°C                | 4...5 ч        |                                               |
|             | Закалка                                                 | 780...800°C          | 20 мин         |                                               |
|             | Отпуск                                                  | 180°C                | 30 мин         |                                               |
| 40Х         | Закалка                                                 | 840...850°C          | 20 мин         | Глубина азотирования<br>0,3...0,5 мм          |
|             | Отпуск                                                  | 560°C                | 30 мин         |                                               |
|             | Азотирование                                            | 500...510°C          | 25...30 ч      |                                               |
| 38ХМЮА      | Закалка                                                 | 940...950°C          | 20 мин         | Глубина азотирования<br>0,3...0,5 мм          |
|             | Отпуск                                                  | 650°C                | 40 мин         |                                               |
|             | Азотирование                                            | 540°C                | 30...40 ч      |                                               |

Для металлографического исследования подготовку образцов проводили по следующей методике: монтаж образцов в металлическую обойму; абразивная обработка; полировка; химическое травление шлифа.

Микроструктуру сталей изучали до и после испытаний на износостойкость на микроскопах ММР-2Р и МИМ-8М при увеличениях  $\times 100$ ,  $\times 300$  и  $\times 500$ . Травление проводили в 4%-ном растворе этилового спирта. Микротвёрдость по глубине слоя измеряли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 100 г.

Так как химико-термическая обработка оказывают большое влияние на износ и долговечность направляющих элементов, то испытаниям на износостойкость подвергали цементированные образцы из сталей 20 и 12ХН3А и азотированные из сталей 40Х и 38ХМЮА. Эти виды химико-термической обработки наиболее распространены на машиностроительных предприятиях.

Изменение микроструктуры образцов из стали 20 до и после испытаний на износостойкость показано на рис. 2, а и б, графики изменения микротвёрдости – на рис. 2, а. Структура поверхностного слоя – мелкоигльчатый мартенсит с карбидами. Так как содержание углерода от поверхности к сердцевине уменьшается, то соответственно изменяется и микроструктура. Увеличиваются размеры игл мартенсита, появляется тростит,

а затем феррит и перлит. Соответственно изменяется и микротвёрдость от 800 до 300 Нм. Как видно из представленных рисунков, глубина цементированного слоя образцов из стали 20 после испытаний на износ уменьшилась на 4...5 мкм, а твёрдость поверхностного слоя снижается с 800 до 700 Нм.

Микроструктура образцов из стали 12ХН3А до и после испытания на износ показана на рис. 2, в и г, графики изменения микротвёрдости – на рис. 2, б. Сталь 12ХН3А относится к наследственно мелкозернистой, поэтому для неё не требуется нормализация для улучшения структуры сердцевины. Высокий отпуск перед закалкой применяли для разложения остаточного аустенита в поверхностном слое. В результате закалки и низкотемпературного отпуска в поверхностном слое образуется мелкоигльчатый высокоуглеродистый мартенсит с микротвёрдостью 800 Нм, в сердцевине – низкоуглеродистый мартенсит более грубого строения с микротвёрдостью 400 Нм. После испытаний на износ глубина цементированного слоя уменьшилась на 2 мкм, а твёрдость – на 30 Нм, т.е. незначительно.

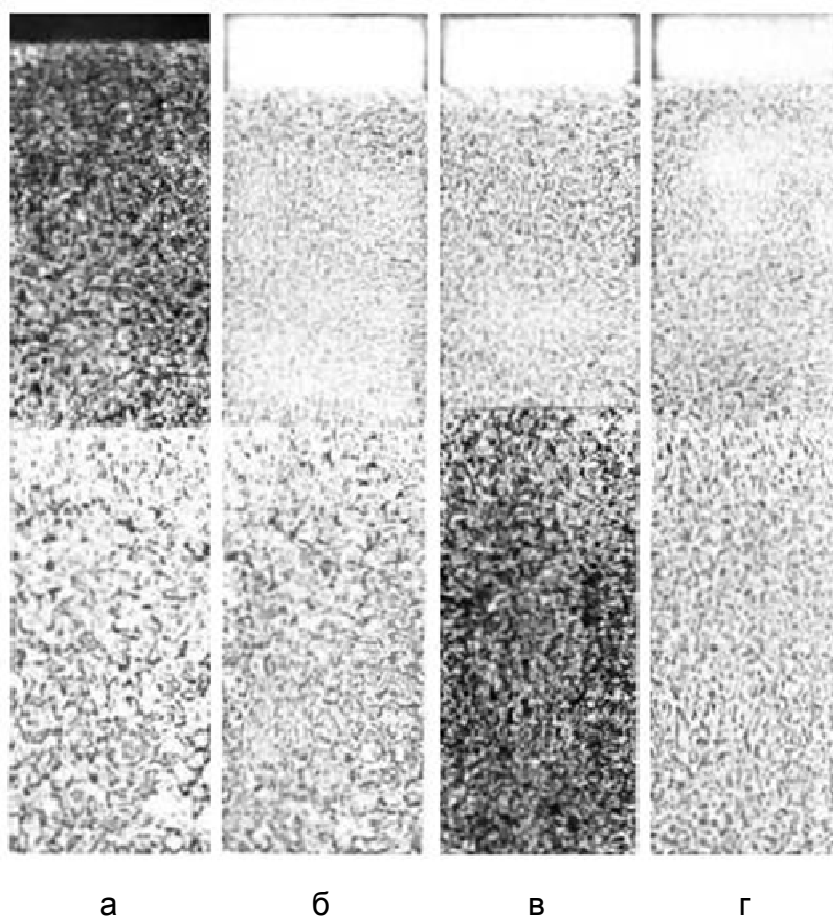
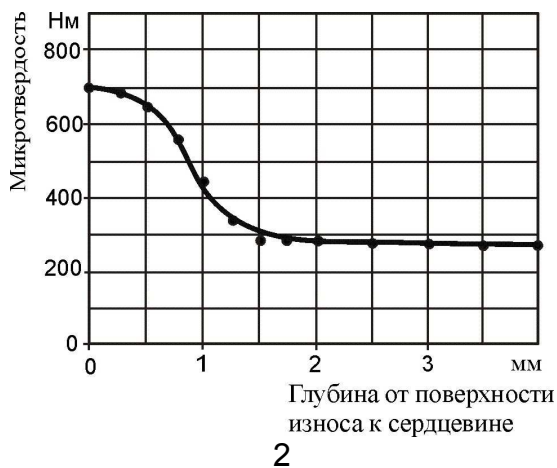


Рис. 2. Микроструктура цементированных сталей: а – сталь 20 до испытания на износ; б – сталь 20 после испытания на износ; в – сталь 12ХН3А до испытания на износ; г – сталь 12ХН3А после испытания на износ

После азотирования микроструктура исследуемых образцов из стали 40Х и 38ХМЮА идентична и отличается только степенью дисперсности и количеством легирующих элементов (рис. 4). В поверхностном слое

располагается тонкая хрупкая и нетравящаяся нитридная зона, которая состоит из  $\epsilon$  - и  $j$  - фаз. Под этой зоной находится основная зона азотированного слоя, отличающаяся при небольшом увеличении от сорбитовой структуры сердцевины стали лишь большей травимостью. Эта зона состоит из  $\alpha$  - и  $j$  - фаз. В этой части, где эта зона примыкает к нитридной кромке, иногда присутствуют нитриды железа в виде тонких прожилок (рис. 4, а, в).

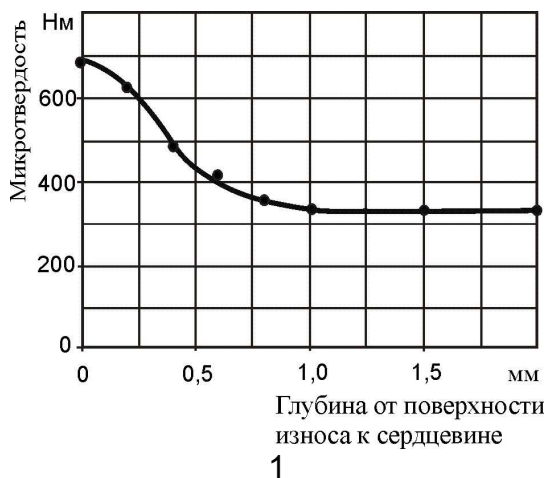
Дисперсные нитриды легирующих элементов при обычно принятых увеличениях в микроструктуре не видны.



а



б



в

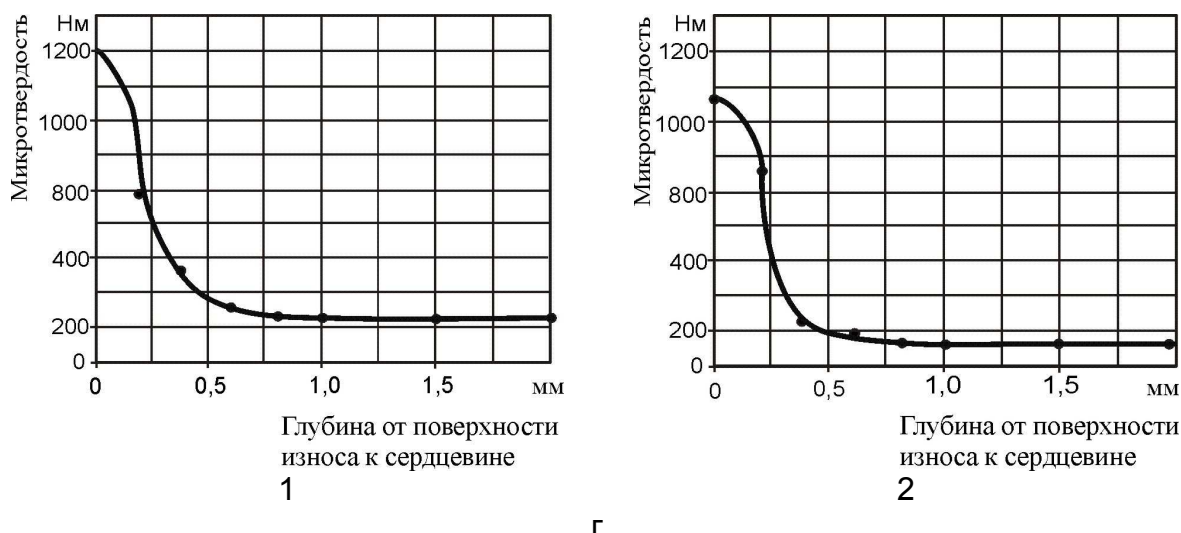


Рис. 3. Графики изменения микротвёрдости: 1 – до испытания; 2 – после испытания на износ; а – для Стали 20; б – для Стали 12ХН3А; в – для Стали 40Х; г – для Стали 38ХМЮА

На некоторых образцах на фоне структуры азотистого сорбита выделяются чёрные границы зерен. Это так называемая нитридная сетка, которая получается при повышенной температуре закалки.

Графики изменения микротвёрдости от поверхности износа к сердцевине исследуемых сталей показаны на рис. 3, в, г.

Исследования микроструктуры и микротвёрдости азотированных образцов из стали 38ХМЮА и 40Х показали, что глубина слоя после испытания на износ для стали 38ХМЮА уменьшается на 1...2 мкм, а для стали 40Х – 2...3 мм. Микротвёрдость снижается на 50...100 Нм.

Глубина и твёрдость азотированного слоя зависят как от технологии насыщения, так и от состава азотируемой стали. Так, поверхностная микротвёрдость исследуемых образцов из стали 38ХМЮА составляет 1200...1300 кгс/мм<sup>2</sup>, а глубина азотируемого слоя – 0,3...0,5мм.

На образцах из стали 40Х микротвёрдость значительно ниже – 600...700 кгс/мм<sup>2</sup>, а глубина слоя немного больше – 0,5...0,7 мм.

Таким образом, чем больше легирующих элементов в стали, тем меньше глубина слоя, и чем больше содержание нитридообразующих элементов, тем выше твёрдость.

Высокая твёрдость азотированного слоя сталей, содержащих нитридообразующие элементы, объясняется высокой термической устойчивостью и дисперсностью нитридов. Образование нитридов легирующих элементов и железа при наличии когерентной связи нитридов с решёткой железа создаёт межфазную границу с сильно искажённой кристаллической решёткой. Чем дисперснее нитриды, чем больше их количество, тем больше поверхность с искажённой кристаллической решёткой. Образование нитридов вызывает измельчение блоков мозаичной структуры, что также приводит к увеличению поверхности с искажённой кристаллической решёткой и к возникновению напряжений второго рода. Вследствие разности удельных объёмов и коэффициентов линейного расширения нитридов и твёрдого раствора стали появляются напряжения первого рода.

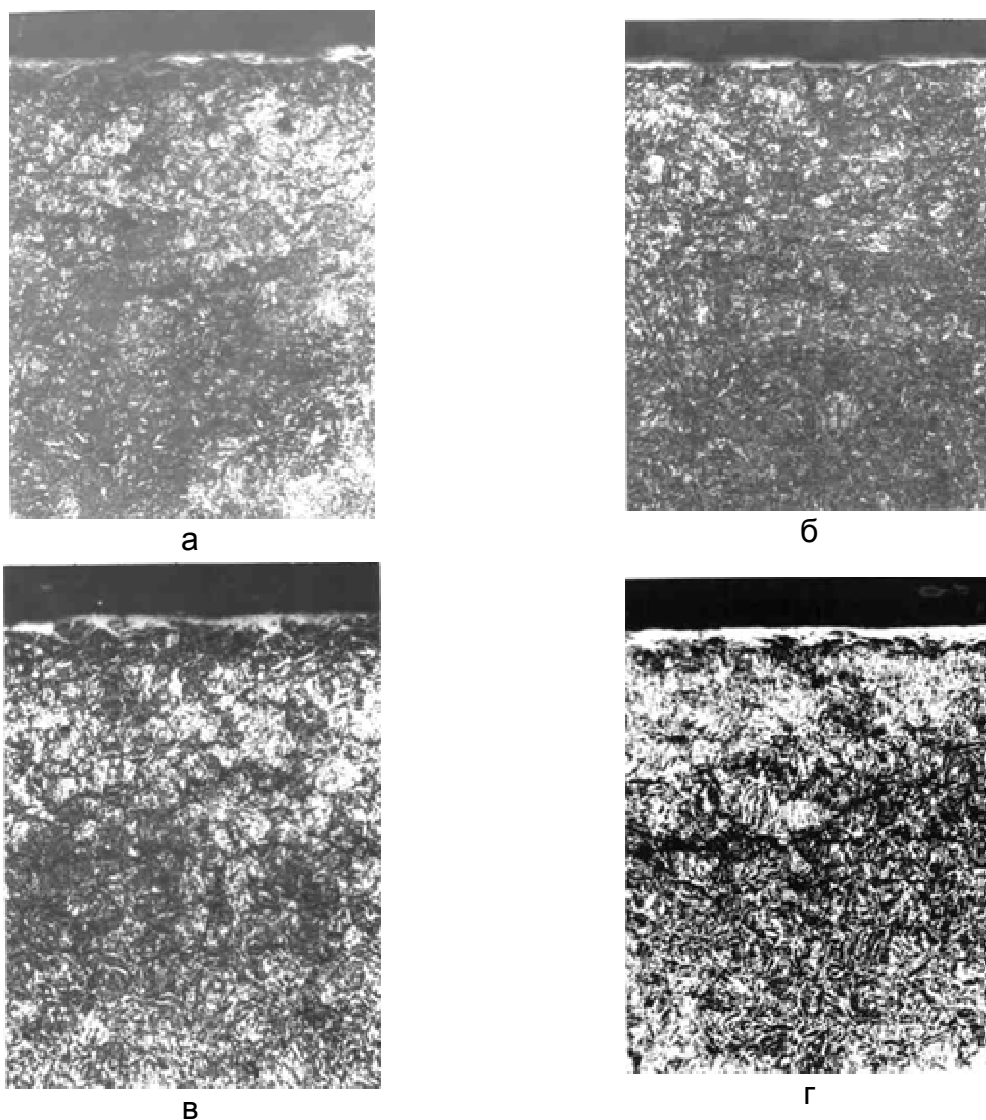


Рис. 4. Микроструктура азотированных сталей (x150):  
а – сталь 40X до испытания на износ; б – сталь 40X после испытания на износ;  
в – сталь 38ХМЮА до испытания на износ; г – сталь 38ХМЮА после испытания  
на износ

Образование при азотировании значительных искажений кристаллической решётки является основной причиной повышения твёрдости при азотировании стали.

Согласно теории дислокаций упрочняющее действие азотирования обусловлено тем, что дисперсные нитриды и карбонитриды легирующих элементов способствуют увеличению плотности дислокаций и торможению их движения, тем самым повышая твёрдость азотированного слоя.

По результатам испытаний построены графики интенсивности износа от продолжительности испытаний и износа от количества циклов (рис. 5).



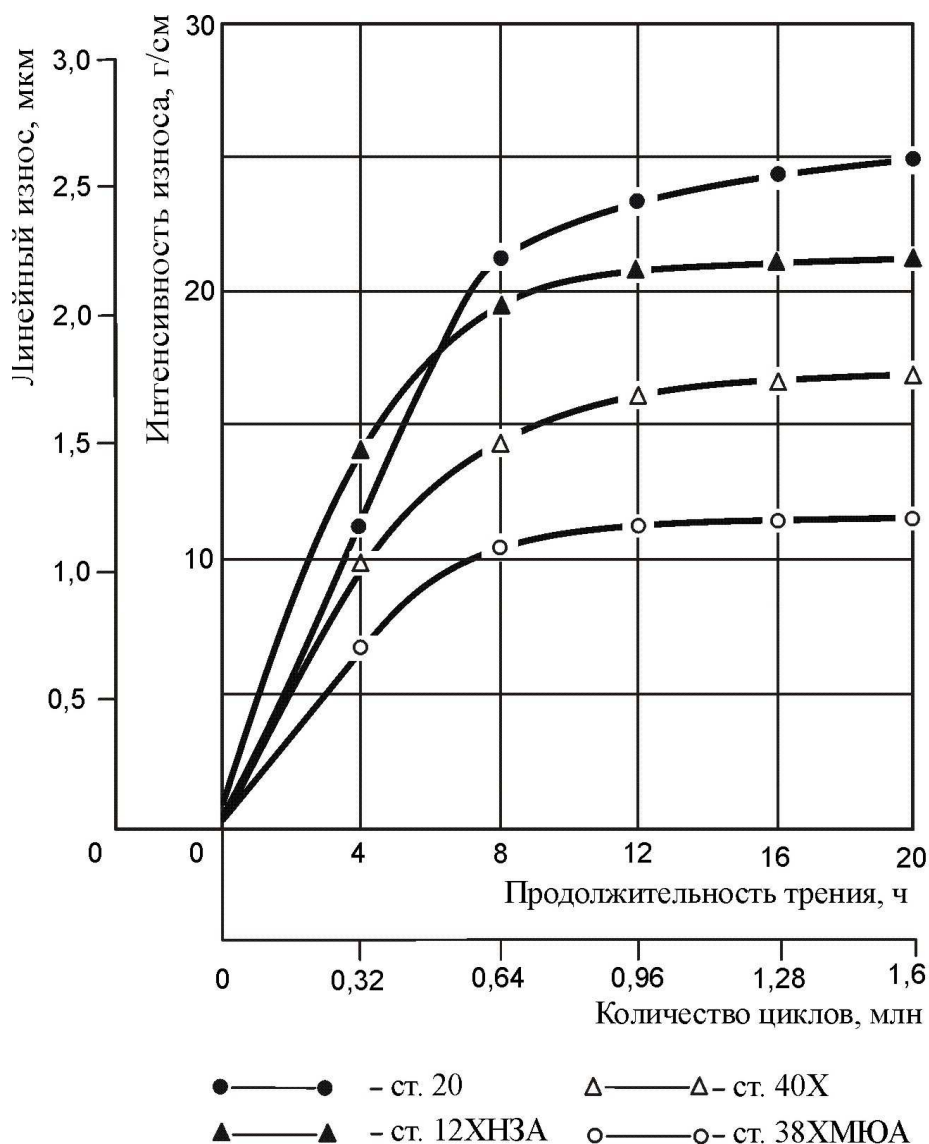


Рис. 5. Зависимость интенсивности износа образцов от продолжительности испытаний

Анализ результатов показал, что мы имеем для всех испытываемых образцов два ярко выраженных периода изнашивания. В первый период изнашивания происходит приработка трущихся поверхностей – изменение их микро- и макрогеометрии. Во времени этот период составляет от 4 до 8 часов непрерывной работы или от 320 до 640 тыс. циклов. При этом линейный износ пропорционален времени изнашивания.

После периода приработки, который необходимо стремиться сокращать, наблюдается второй период установившегося износа. В этом случае наблюдается линейная зависимость между временем изнашивания  $t$  и величиной износа  $V$ , т.е. в период установившегося износа скорость изнашивания остаётся постоянной:

$$V = \frac{V}{t} = const. \quad (4)$$

Из графиков видно, что минимальный износ имеют образцы, выполненные из стали 38ХМЮА, что в 2,2 раза ниже, чем у образцов из стали 20; в 1,9 раза

ниже, чем у образцов из стали 12ХН3А; в 1,6 раза ниже, чем у образцов из стали 40Х.

Следует отметить, что микротвёрдость азотированных образцов из стали 40Х ниже микротвёрдости цементированного слоя. Однако износостойкость этой стали выше износостойкости цементированной, а коробление в процессе обработки меньше, что важно для направляющих элементов универсально-сборных штампов.

Поверхностный слой азотированных образцов из стали 38ХМЮА, состоящий из карбонитридов и диффузионной зоны, имеет высокую износоустойчивость и незначительную склонность к заеданию и схватыванию, обеспечивает высокое сопротивление детали износу в различных условиях трения. Азотированная поверхность обладает красностойкостью, т.е. в ней не снижается твёрдость при нагреве до температуры 600°C, а цементированная закалённая поверхность при этой температуре полностью отпускается. Поэтому азотирование остаётся незаменимым процессом в тех случаях, когда от деталей требуется высокая твёрдость и износостойкость при повышенных температурах.

По результатам испытаний под нагрузкой 20, 30 и 40 кгс/см<sup>2</sup> строим графики зависимости износа от удельного давления (рис. 6).

На рис. 6 видно, что с увеличением удельного давления величина линейного износа возрастает. При этом на участке 0...25 кгс/см<sup>2</sup> величина линейного износа прямо пропорциональна изменению величины удельного давления.

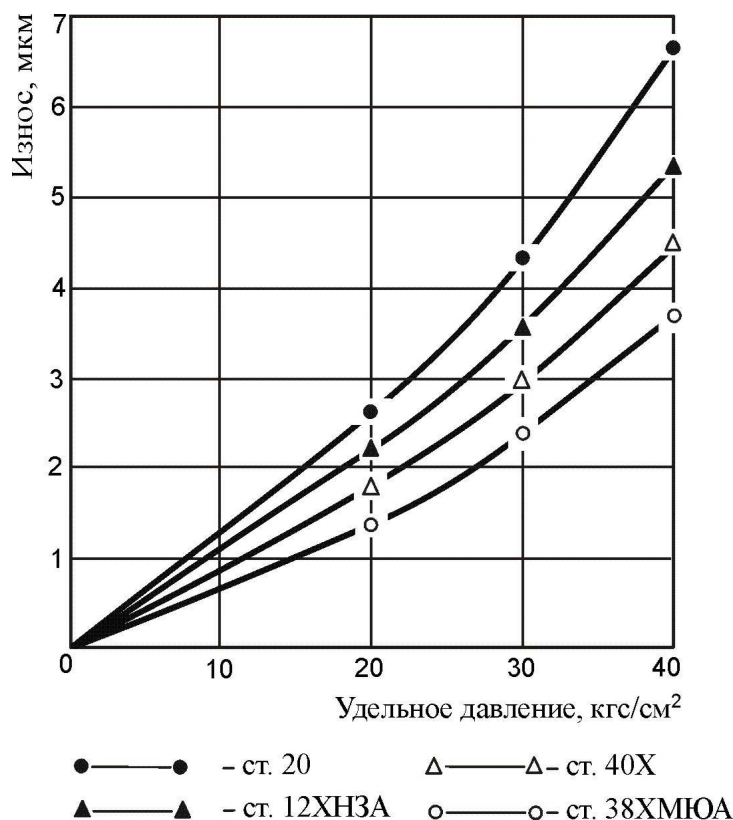


Рис. 6. Зависимость линейного износа образцов от удельного давления

При давлении 20 кгс/см<sup>2</sup> и продолжительности работы в течение 20 часов линейный износ составлял для стали 38ХМЮА – 1,3 мкм, для стали 40Х – 1,8 мкм, – для стали 12ХН3А – 2,3 мкм и для стали 20 – 2,7 мкм.

При дальнейшем увеличении удельного давления наблюдалось более интенсивное увеличение износа, и при давлении 40 кгс/см<sup>2</sup> он составил для стали 38ХМЮА – 3,6 мкм, для стали 40Х – 4,6 мкм, для стали 12ХН3А – 5,4 мкм и для стали 20 – 6,8 мкм.

### Выводы

1. Экспериментальные исследования показали высокую износостойкость стали 38ХМЮА при следующей термической и химико-термической обработке (закалка при 940...950 °С – 20 мин, отпуск при 650 °С – 40 мин и азотирования при 540 °С – 30...40 ч).

2. Сталь 38ХМЮА – наиболее эффективный материал для изготовления направляющих элементов УСПШ.

### Список литературы

1. Романовский, В. П. Надежность и долговечность системы универсально-сборных штампов [Текст] / В. П. Романовский, А. Я. Мовшович // Вестник машиностроения. – 1972. – № 6. – С. 61-64.

2. Буденный, М. М. Перспективы развития исследований и разработка новых конструкций штамповой оснастки на основе композитов [Текст] / М. М. Буденный // Резание и инструмент в технологических системах: сб. науч. трудов Харьковского государственного политехнического университета «ХПИ». – Вып. 58 – X., 2005. – С. 25-28.

3. Оценка надежности универсально-сборных штампов в условиях дискретно-нестабильных программ выпуска изделий [Текст] / А. Я. Мовшович, Н. К. Резниченко, Г. И. Ищенко, В. В. Агарков // Машинобудування: зб. наук. праць Української інженерно-педагогічної академії «УІПА». – Вип. 6. – X., 2010. – С. 133 – 142.

4. Агарков, В. В. Унификация и стандартизация технологической оснастки – важнейшее условие ускоренной технологической подготовки производства [Текст] / А. Я. Мовшович, М. Е. Федосеева, В. В. Агарков // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ». – Вип. 40. – 2011. – С. 13 – 18.

5. Агарков, В. В. Исследование прочности и жесткости конструктивных элементов универсально-сборных переналаживаемых штампов из композиционных материалов [Текст] / В. В. Агарков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 59. – X., 2013. – С. 204 – 219.

6. Оценка надежности системы обратимых штампов с использованием композиционных материалов и точности штампуемых деталей [Текст] / Е. А. Фролов, В. В. Агарков, С. И. Кравченко, С. Г. Ясько // зб. наук. праць Дніпровського держ. техн. ун-ту (техн. науки). – Кам'янське., 2018. – С. 206 – 212.

7. Денисов, В. И. Повышение износостойкости направляющих элементов универсально-сборных штампов [Текст] / В. И. Денисов, А. Я. Мовшович // Технология и организация производства. – Вып. 1. – Киев, 1980. – С. 28 – 30.

8. Крагельский, И. В. Трение и износ [Текст]: 3-е изд., перераб. и доп. / И. В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

## References

1. Romanovskii, V. P., Movshovich, A. Ya. Nadezhnost' i dolgovechnost' sistemy universal'no-sbornykh shtampov [Reliability and durability of the universal dies system]. *Vestnik mashinostroeniya*, 1972, no 6, pp. 61–64.
2. Budennyi, M. M. Perspektivy razvitiya issledovaniy i razrabotka novykh konstruktсий shtampovoi osnastki na osnove kompozitov [Prospects for the development of research and the development of new designs of die tooling based on composites]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh* [Cutting and tooling in technological systems]. *Collection of scientific works of the Kharkov State Polytechnic University «KhPI»*. Khar'kov, KhPI, 2005, no. 58, pp. 25-28.
3. Movshovich, A. Ya., Reznichenko, N. K., Ishchenko, G. I., Agarkov, V. V. Otsenka nadezhnosti universal'no-sbornykh shtampov v usloviyakh diskretno-nestabil'nykh programm vypuska izdelii Mashinobuduvannya [Evaluation of the reliability of universally-assembled dies in the conditions of discretely unstable product release programs]. *Engineering. Collection of scientific works of the Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy "UIPA"*. Khar'kov, UIPA, 2010, no. 6, pp. 133 – 142.
4. Agarkov, V. V., Movshovich, A. Ya., Fedoseeva, M. E., Agarkov, V. V. Unifikatsiya i standartizatsiya tekhnologicheskoi osnastki – vazhneishee uslovie uskorennoi tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva [Unification and standardization of tooling - the most important condition for accelerated technological preparation of production]. *Visnyk Nacional'nogo texnichnogo universytetu «Xarkivs'kyj politexnichnyj instytut»*, Xarkiv, NTU «XPI», 2011, no. 40, pp. 13 – 18.
5. Agarkov, V. V., Issledovanie prochnosti i zhestkosti konstruktivnykh elementov universal'no-sbornykh perenalazhivaemykh shtampov iz kompozitsionnykh materialov [Investigation of the strength and rigidity of the structural elements of universal prefabricated stamps made of composite materials]. *Sbornik nauchnykh trudov «Otkrytye informacionnye i komp'yuternye integrirovannye tehnologii»* [Proc. of the National aerospace university Kharkiv aviation institute «Open Information and Computer Integrated Technologies»], 2013, no. 59, pp. 204 – 219.
6. Frolov, E. A., Agarkov, V. V., Kravchenko, S. I., Yas'ko, S. G. Otsenka nadezhnosti sistemy obratimykh shtampov s ispol'zovaniem kompozitsionnykh materialov i tochnosti shtampuemykh detalei [Assessment of the reliability of the system of reversible using composite materials and the accuracy of the stamped parts]. *Zbirnyk naukovy'x prac', texnichni nauky* [Proc. of the Dniprovsky State Technical University], Kam'yans'ke, 2018, pp. 206 – 212.
7. Denisov, V. I., Movshovich, A. Ya. Povyshenie iznosostoikosti naprvlyayushchikh elementov universal'no-sbornykh shtampov [Increasing the durability of the guide elements of universal prefabricated stamps] *Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva*, Kiev, 1980, no. 1, pp. 28 – 30.
8. Kragel'skii, I. V. *Trenie i iznos* [Friction and wear]. 3-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe, Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968. 480 p.

Поступила в редакцию 15.02.2019, рассмотрена на редколлегии 20.02.2019

## **Визначення впливу матеріалу та хіміко-термічної обробки на зносостійкість елементів універсально-збірних переналагоджуваних штампів**

Наведено результати експериментальних досліджень зносостійкості металів з метою вибору найбільш ефективного для виготовлення напрямних елементів універсально-збірних переналагоджуваних штампів. Для визначення впливу матеріалу та хіміко-термічної обробки їх на зносостійкість напрямних колонок досліджено щодо вибору оптимальної пари тертя перевірені в умовах, наближених до умов експлуатації штампів. Зразки для випробувань виконані у вигляді зрізання зі сталей 20, 12ХН3А, 40Х і 38ХМЮА. Лабораторні випробування перевірені на машині МИ-1М під навантаженням 50, 75 і 100 кгс при площі контакту дорівнює 243 мм<sup>2</sup>. Величину зносу визначали ваговим методом Крагельського І. В.

Перед випробуванням на зносостійкість зразки піддавалися термічній і хіміко-термічній обробці: Сталі 20 (цементация, нормалізація, гартування, відпускання), 12ХН3А (цементация, високе відпускання, гартування, відпускання), 40Х (гартування, відпускання, азотування) і 38ХМЮА (гартування, відпускання, азотування).

Дослідження мікроструктури й мікротвердості досліджуваних зразків показали, що азотування зразка зі сталі 38ХМЮА і 40Х свій знос відповідно зменшується на 1...2 мкм і 2...3 мкм, а мікротвердість в обох матеріалах знижується на 50...100 Нм. Аналіз графіків інтенсивності зносу від кількості циклів показав, що для всіх зразків існує два періоди зношування (1 – приробіток поверхонь, що труться, 2 – знос, що встановився). Також дослідження показали, що поверхневий шар азотованих зразків на сталі 38ХМЮА мають більш високу зносостійкість і незначну схильність до заїдання і схоплювання, забезпечуючи високий опір деталі зносу в різних умовах тертя.

Результати випробувань зразків під різним навантаженням показали, що величина лінійного зносу пропорційна зміні величини питомої тиску встановлено на підставі проведених досліджень, що найбільш ефективним матеріалом для виготовлення напрямних елементів для УЗПШ є сталь 38ХМЮА при наступній термічній і хіміко-термічній обробці (гартування – 940 ... 950 °С, відпускання – 650 °С і азотування – 540 °С).

**Ключові слова:** зносостійкість, хіміко-термічна обробка, направляючі елементи, універсально-збірний переналагоджуваний штамп, мікроструктура, мікротвердість.

## **Determination of the Effect of Material and Chemical-Heat Treatment on the Wear Resistance of the Elements of Prefabricated Universal Readjusted Stamps**

The article presents the results of experimental studies of the wear resistance of metals in order to select the most effective for the manufacture of guide elements of prefabricated universal readjusted stamps. To determine the effect of the material and chemical-heat treatment of them on the wear resistance of the guide elements, the optimal friction pair was selected and tested under conditions similar to the operating conditions of the stamps. Specimens for testing were made in the form of cuts of steel 20, 12ХН3А (12HN3A), 40Х (40H) and 38ХМЮА (38HMYUA). Laboratory tests were performed on the machine МИ-1М (MI-1M) under a load of 50, 75 and 100 kgf with a contact area of 243 mm<sup>2</sup>. The amount of wear was determined by the gravimetric method of I. Kragelsky. Before testing for wear resistance, the specimens were subjected to thermal and heat-chemical treatment: Steel 20 (cementation, normalization, quenching, tempering), 12ХН3А (12HN3A) (cementation, high tempering, quenching, tempering), 40Х (40H) (quenching, tempering, nitriding) and 38ХМЮА (38HMYUA) (quenching, vacation, nitriding). Studies of the microstructure and microhardness of the test specimens have shown that the nitriding of 38ХМЮА (38HMYUA) and 40Х (40H) steel specimen reduces its wear by 1...2 μm and 2...3 μm, and the microhardness of both materials decreases by 50...100 Nm. The analysis of the wear intensity graphs on the number of cycles have shown that for all specimens there are two periods of wear (1 – running-in of rubbing surfaces, 2 – steady wear). Also, studies have shown that the surface layer of nitrated specimens on 38ХМЮА (38HMYUA) steel has a higher wear resistance and a slight tendency to seizing and

hardening, providing a high resistance of the part to wear in various friction conditions. The results of testing samples under various loads have shown that the linear wear value is proportional to the change in the specific pressure value established on the basis of the conducted studies that the most effective material for the manufacture of guide elements for PURS is 38ХМЮА (38НМЮА) steel with the following thermal and heat-chemical treatment (quenching – 940 ... 950°C, tempering – 650°C and nitriding – 540°C).

**Key words:** wear resistance, heat-chemical treatment, guide elements, prefabricated-universal readjusted stamp, microstructure, microhardness.

#### **Сведения об авторах:**

**Фролов Евгений Андреевич** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения ПНТУ, г. Полтава, Украина; e-mail: frolov.poltntu@gmail.com; ORCID:0000-0002-2691-5386.

**Агарков Виктор Васильевич** – канд. техн. наук, зам. директора, Государственное предприятие «Харьковстандартметрология», Украина; e-mail: 290@mtl.kharkov.ua, ORCID: 0000-0001-9883-0480.

**Кравченко Сергей Иванович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения ПНТУ, г. Полтава, Украина; e-mail: 050Ser09@i.ua; ORCID: 0000-0003-3250-8645.

**Верещага Наталья Викторовна** – преподаватель цикла дисциплин технологии машиностроения и обработки металлов Полтавского политехнического колледжа Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Полтава, Украина; e-mail: natavereck@ukr.net; ORCID: 0000-0001-5319-6615.

#### **About the Authors:**

**Frolov Evgeniy Andreevych**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of mechanical engineering technology, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine; e-mail: frolov.poltntu@gmail.com; ORCID:0000-0002-2691-5386.

**Agarkov Victor Vasilyevich**, PhD,. Director, State Enterprise "Kharkivstandartmetrology", Ukraine; E-mail: 290@mtl.kharkov.ua, ORCID: 0000-0001-9883-0480.

**Kravchenko Sergey Ivanovich**, PhD, Associate Professor, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine; e-mail: 050Ser09@i.ua; ORCID: 0000-0003-3250-8645.

**Vereshchaga Natalya Viktorovna**, lecturer in the cycle of disciplines in engineering technology and metal processing at the Poltava Polytechnic College of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Poltava, Ukraine; e-mail: natavereck@ukr.net; ORCID: 0000-0001-5319-6615.