



Российская академия наук  
Учреждение Российской академии наук Физический  
институт им. П.Н. Лебедева РАН  
Самарский филиал

1

# Технология и оборудование импульсной лазерной упрочняющей обработки для инструментального производства

к.т.н., ученый секретарь СФ ФИАН  
Яресько С.И. [scisec@fian.smr.ru](mailto:scisec@fian.smr.ru), тел.:334-57-64



Связи СФ ФИАН с машиностроительными предприятиями в области упрочняющей технологии металлообрабатывающего инструмента

### **НАЗНАЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ:**

- повышение стойкости металлообрабатывающего инструмента.

### **ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ:**

- упрочнение широкого спектра инструментальных материалов, инструмента различной номенклатуры и назначения, в условиях постоянного варьирования режимов его эксплуатации с целью достижения наибольшего эффекта упрочнения, в том числе и по критерию износостойкости.

**Механизм** лазерной термообработки заключается в высокоскоростном нагреве поверхностного слоя металла под действием лазерного излучения миллисекундного диапазона длительности до температур, превышающих температуру фазовых превращений, но не достигающих температуры плавления и последующем высокоскоростном охлаждении за счет отвода тепла в массу металла. Возникающая в ЗЛВ структура обладает повышенной твердостью и износостойкостью.

**Глубина** упрочненного слоя и эксплуатационные характеристики инструмента зависят от условий теплоотвода, качества поверхности, марки материала и режима упрочнения. Типичные значения глубины упрочненного слоя – 50-100мкм. Стойкость инструмента также существенным образом зависит от совместного влияния режимов упрочнения и режимов эксплуатации. Поэтому применительно к типу инструмента должна быть разработана конкретная технология упрочнения.



## ДОСТИГАЕМЫЙ ЭФФЕКТ:

### Увеличение стойкости

- в **1,5 - 2,0** раза для режущего инструмента из быстрорежущих сталей P18, P9K5, P6M5, P9M4K8, P6M6K5 и др.
- в **3,0 - 5,0** раза и более для штампового инструмента из сталей X12, X12Ф1, X12М, ХВГ, 9ХС и др.
- в **3,0** и более раз для инструмента из углеродистых сталей У8, У10 и др.
- в **1,5 - 2,0** раза для инструмента из твердых сплавов вольфрамокобальтовой группы

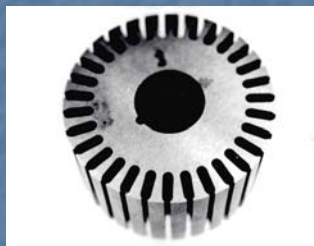
1. **Повышение** стабильности процесса резания в 2-3 раза.
2. Экологическая чистота мех. обработки.



метчики (P6M5, P6M5K5)



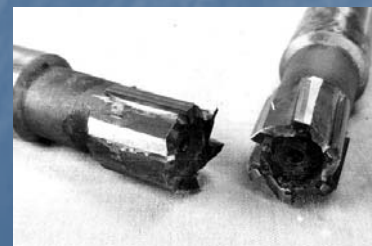
Дисковая отрезная фреза P18 и P6M5



Вырубной штамп X12M



Вытяжной штамп (матрица – ШХ15; пуансон – X12M)



Фрезы BK8



Резец с МНП BK8

## Преимущества технологического процесса лазерного упрочнения:

- **локальность** упрочнения в местах наибольшего износа с сохранением исходных свойств материала в остальном объеме;
- возможность упрочнения **труднодоступных** мест;
- **отсутствие** деформации обрабатываемых изделий позволяет полностью исключить дополнительную финишную обработку;
- возможность использования упрочненного инструмента **после его переточки** с сохранением стойких характеристик;
- возможность его проведения на **воздухе**;
- отсутствие механического воздействия на изделие обуславливает **простоту** его автоматизации;
- экологическая **чистота**.

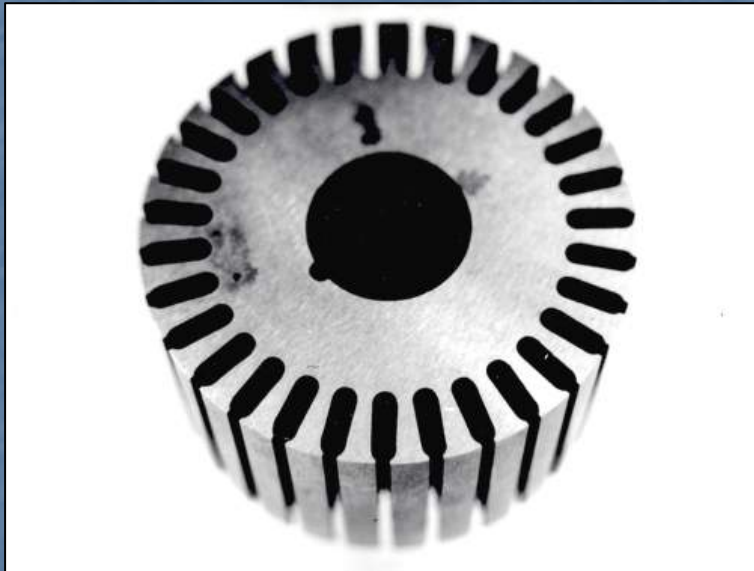


*Перспективы развития и актуальность внедрения технологии лазерной импульсной упрочняющей обработки металлорежущего инструмента обусловлены:*

- *высоким **качеством** и **эффективностью** процесса упрочнения;*
- ***снижением затрат** дорогостоящего инструмента и легирующих элементов;*
- ***высокими** эксплуатационными характеристиками обрабатываемых изделий;*
- *простотой **автоматизации** процесса;*
- *возможностью быстрой **адаптации** оборудования к конкретному типу обрабатываемых изделий;*
- ***экологической** чистотой производства.*

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

| Инструментальный материал                | Обрабатываемый материал                            | Коэффициент увеличения стойкости | Предприятие                   |
|--|--|----------------------------------|-------------------------------|
| Дисковые фрезы P18                       | 12X2H  | 1,9                              | ОАО «Моторостроитель»         |
| Дисковые фрезы P6M5                      | X18H9T   | 1,9                              |                               |
| Развертки P9K5                           | бронза БРХ-08 и жаропрочная сталь ЭИ654 (в пакете) | 1,5                              |                               |
| Сверла P6M5 <sup>1</sup> Ø3,8мм          | 40X  | 1,5-2,0                          | Средневолжский станкозавод    |
| Строгальные резцы P9K5                   | сплав ХН68ВМТЮК-ВД                                 | до 2 <sup>x</sup> раз            | ОАО «Моторостроитель»         |
| Дисковая фреза ВК8                       | толщина 3,0мм                                      | 1,5-2,0                          | ОАО «Салют»                   |
| Фреза грибковая ВК8                      |  | 1,5-2,0                          |                               |
| Штамп вырубной 9ХС (штамп для звездочек) | ст.20, толщина 2,5мм                               | ~10,0                            | ОАО «ПО „Севмаш“»             |
| Протяжка 9ХС                             | ст.45  | 1,5                              |                               |
| Пуансон-матрица Х12М                     | ст.10кп, толщина 1 мм                              | 3-5 раз                          | ОАО «Завод им. А.М. Тарасова» |
| Пуансон-матрица У10А                     | ст.5, толщиной 4мм                                 | 1,7                              | Завод «Электроцит»            |
| Долбежные резцы P6M5                     | ХН68ВМТЮК-ВД                                       | 2,0                              | ОАО «Моторостроитель»         |
| Сверла ЭП657 <sup>2</sup> (P12M3Ф2K8)    | ХН73МБТЮ-ВД (НВ 293-341ед.)                        | 1,8-2,2                          |                               |



Штамп для вырубki пластин статора электродвигателя стартера автомобиля «Волга»

## ОАО «Завод им. А.М. Тарасова» (Самара)

Материал штампа – Х12М.

Материал детали – ст.10кп, толщина 1мм.

Стойкость двукратнообработанного штампа до первой переточки возросла с 40 до 150 тыс. деталей.

Стойкость однократнообработанного штампа до первой переточки возросла с 40 до 80 тыс. деталей.

Режимы упрочнения –  $\varepsilon=2...2,5$  Дж/мм<sup>2</sup>; растр,  $K_{\text{п}}=0.2$ ; упрочнение по **задней поверхности**.

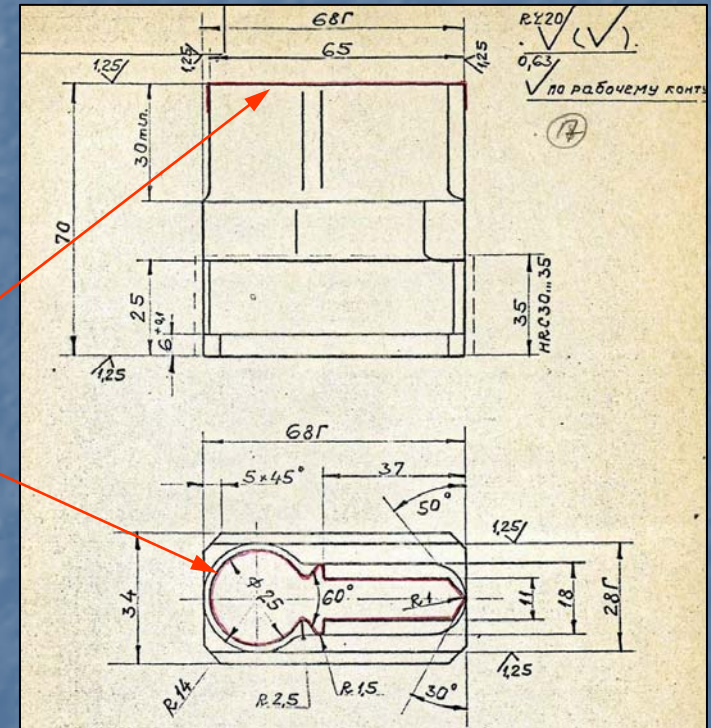
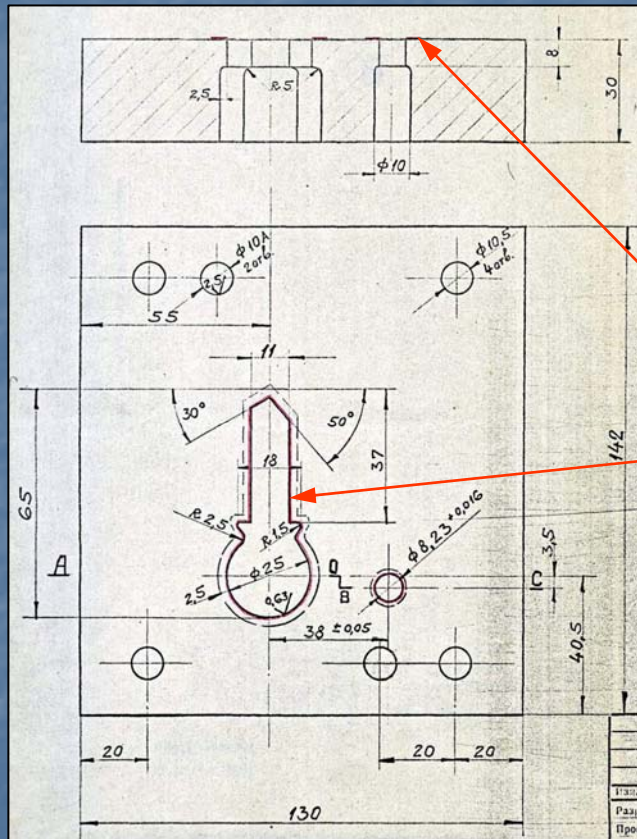
Глубина упрочненного слоя -  $\sim 100$  мкм.

Ширина ленточки упрочнения по задней поверхности -  $\sim 5$  мм.

Число возможных переточек – 4-5.



## ОАО «ПО „Севмаш“» (комплект вырубного штампа для изготовления заготовок ключей)



Зона упрочнения

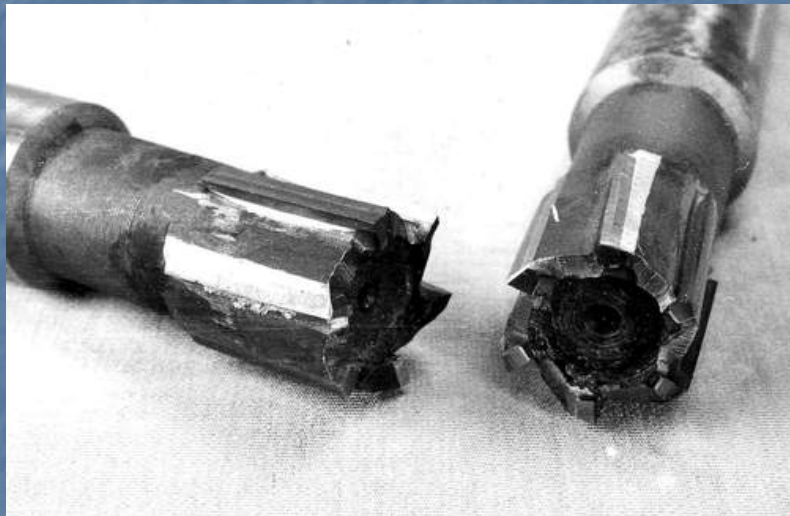
Пуансон вырубной 9ХС

Матрица 9ХС

1. Гурев Д.М., Лалетин А.П., Петров А.Л., Ярьско С.И. Влияние лазерного излучения на характер износа твердосплавного режущего инструмента // Трение и износ. - 1989. - Т.10, №4. – С.674-680
2. Ярьско С.И. Анализ изнашивания облученного твердосплавного инструмента. 1. Влияние режимов лазерного воздействия на размерную стойкость резцов // Сверхтвердые материалы. - 1993. - №6. – С.39-47

## Технология и оборудование импульсной лазерной упрочняющей обработки для инструментального производства

ОАО «Салют» (твердосплавные фрезы – ВК8)



$$K_{ст.} = 1,5...2,0.$$



1. Ярьско С.И. Анализ стойкости и изнашивания твердосплавного инструмента после лазерной термообработки // Известия Самарского научного центра РАН. – 2001 – Т.3, №1. – С.27-37
2. Ярьско С.И. Повышение эксплуатационных характеристик твердосплавного инструмента при лазерной обработке // Физика и химия обработки материалов – 2003 - №5. – С.18-22

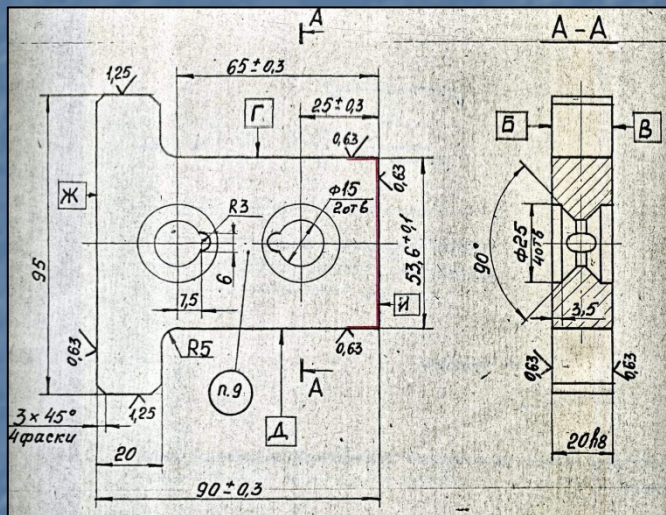




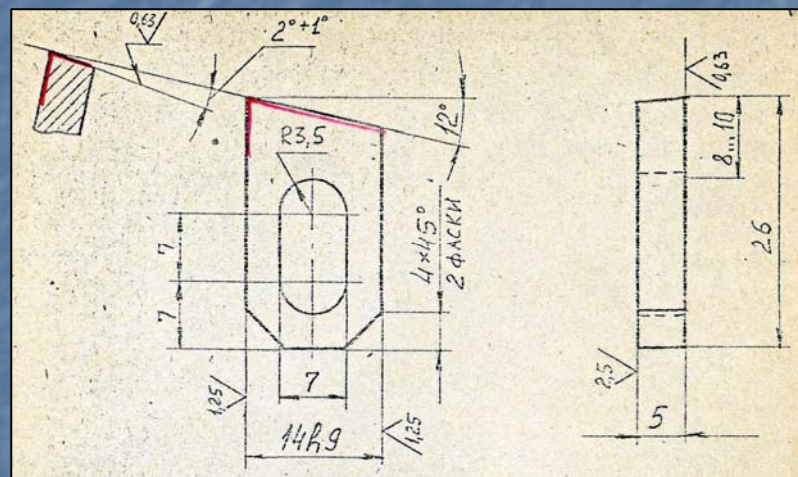


# Технология и оборудование импульсной лазерной упрочняющей обработки для инструментального производства

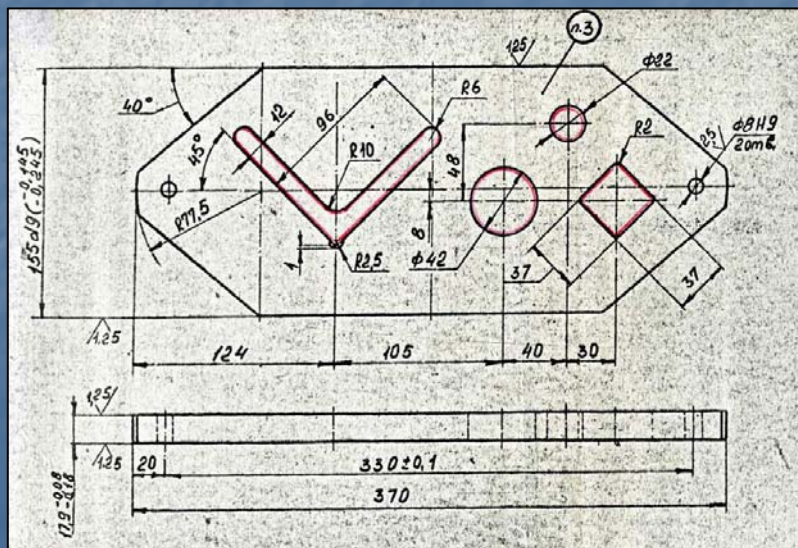
## Номенклатура упрочняемого инструмента



Нож, Х12М



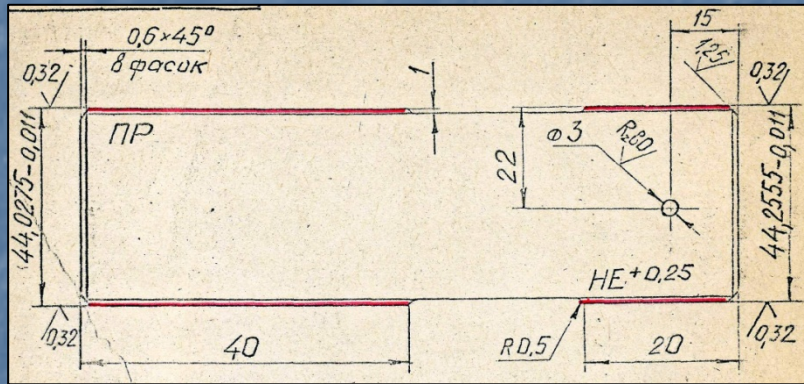
Нож подвижной к электроножницам, Х12М



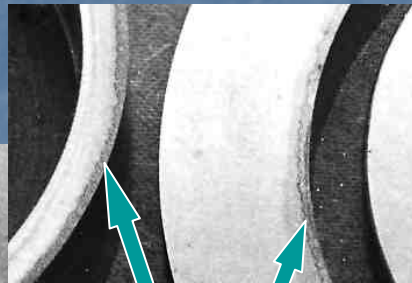
Нож профильный для уголка, круга, квадрата к пресс-ножницам, Х12М



## Номенклатура упрочняемого инструмента



Калибр пазовый У10А

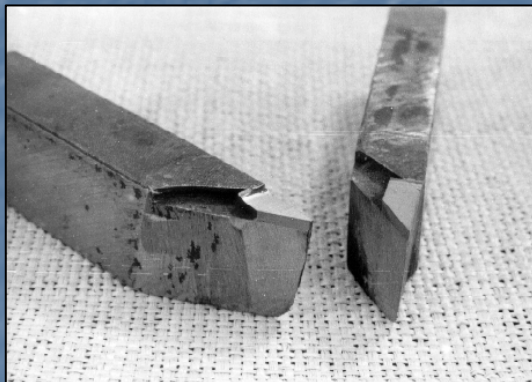


Зона лазерной обработки



# Технология и оборудование импульсной лазерной упрочняющей обработки для инструментального производства

## Номенклатура упрочняемого инструмента

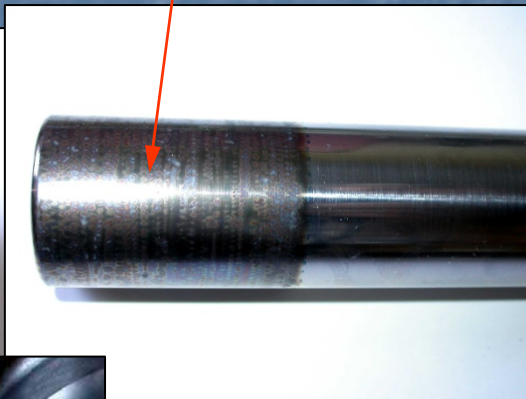
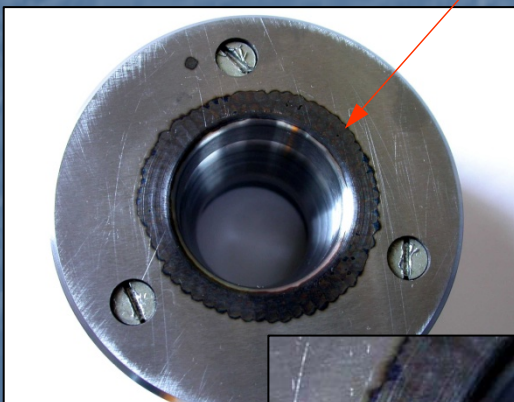


Зона упрочнения



Пуансон вырубного штампа, ст.20

Резцы с напайными твердосплавными режущими пластинами – ВК8



Комплект вытяжного штампа, матрица – ШХ15, пуансон - Х12М



Внешний вид твердосплавных пластин и инструмента

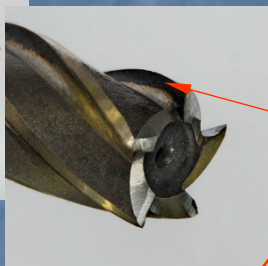


## Номенклатура упрочняемого инструмента

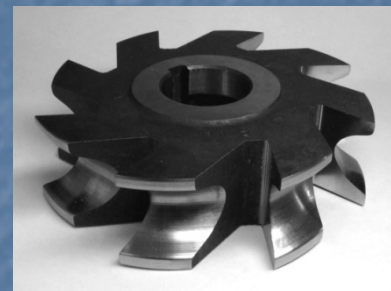
**Зона упрочнения**



Фрезы P18, P6M5



Развертки P9K5



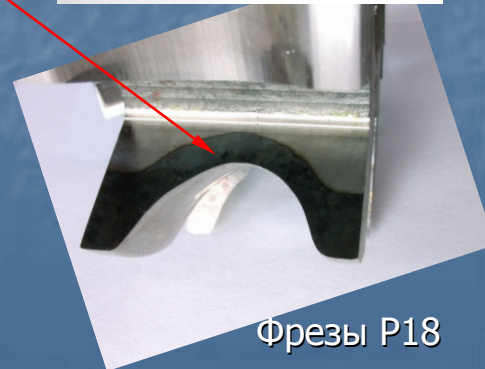
Развертки P9K5



Фрезы P9K5



Резцы P18



Фрезы P18

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

### *Лазерной обработке на воздухе подвергались следующие типы инструмента:*

1. **Дисковые фрезы** (P18 и P6M5) диаметром 130мм и толщиной 3,0мм. Упрочнение проводилось по боковой поверхности каждого зуба.
2. **Сверла** (P12M3Ф2K8 и P6M5) диаметром 18,3мм. Обработка проводилась как по задней, так и по передней поверхностям инструмента.
3. **Строгальные резцы** (P9K5). Упрочнение по передней поверхности.
4. При испытании **сверл** (P12M3Ф2K8) установлено, что более эффективной является лазерная обработка передней поверхности инструмента, обеспечивающая повышение стойкости в  $\sim 1,8$  раза. Тогда как стойкость сверл с упрочненной задней поверхностью оставалась на уровне контрольного инструмента.
5. Также установлено, что упрочненные спиральные **сверла** (P6M5) имеют стойкость выше стойкости неупрочнённого инструмента в 1,5 раза при  $V=4,2$ м/мин; в 1,7 раза при  $V=6,0$ м/мин; в 2,0 раза при  $V=8,5$ м/мин.



# Технология и оборудование импульсной лазерной упрочняющей обработки для инструментального производства

## Производственные испытания упрочненного инструмента

| Инструментальный материал | Обрабатываемый материал                            | Коэффициент увеличения стойкости |
|---------------------------|--|----------------------------------|
| Дисковые фрезы P18        | 12X2H  | ~1,9                             |
| Дисковые фрезы P6M5       | X18H9T   | ~1,9                             |
| Развертки P9K5            | Бронза БРХ-08 и жаропрочная сталь ЭИ654 (в пакете) | ~1,5                             |
| Сверла P12M3Ф2K8          | XH73МБТЮ-ВД  | ~1,8                             |
| Сверла P6M5               | 40X  | 1,5-2,0                          |
| Строгальные резцы P9K5    | Сплав XH68ВМТЮК-ВД                                 | до 2х раз                        |



Дисковая отрезная фреза P18 и P6M5



Комплект вытяжного штампа после лазерной обработки (матрица – ШХ15; пуансон – Х12М)



метчики (P6M5, P6M5K5)



Развертки P9K5



Поперечный шлиф зуба развертки P9K5 после лазерной обработки.  $\times 100$

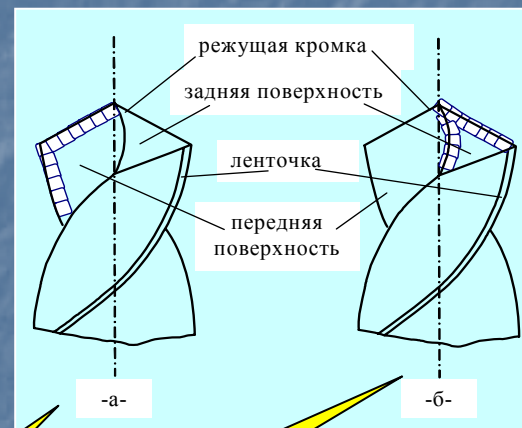


## Производственные испытания упрочненного инструмента

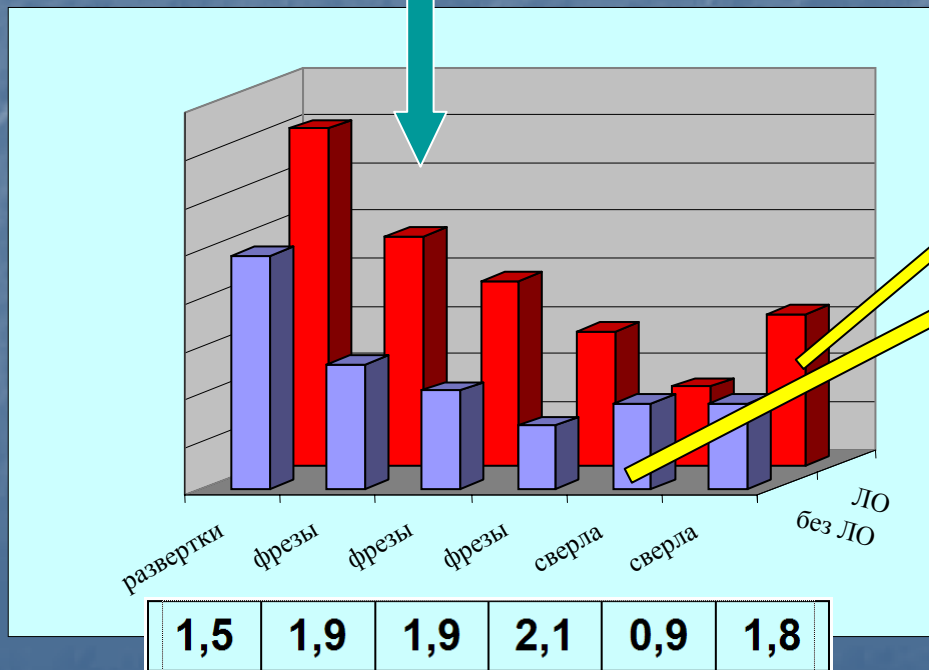


$n=60$  об/мин,  
 $s=60$  мм/мин,  
 $t=2$  мм

$n=63$  об/мин,  
 $s=0,063$  мм/об



Варианты схем упрочнения спиральных сверл:  
а – упрочнение по передней поверхности;  
б – упрочнение по задней поверхности.





|                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| развертки                    | среднее число обработанных отверстий |
| фрезы Р18 - 12Х2Н            | время обработки                      |
| фрезы Р6М5 - Х18Н9Т (воздух) | время обработки                      |
| фрезы Р6М5 - Х18Н9Т (аргон)  | длина обработки                      |
| сверла                       | время обработки (задняя)             |
| сверла                       | время обработки (передняя)           |

# Технология и оборудование импульсной лазерной упрочняющей обработки для инструментального производства

## Акты производственных испытаний упрочненного инструмента

**“УТВЕРЖДАЮ”**  
 Технический директор  
 ОАО “Моторостроитель”

**АКТ**

производственных испытаний режущего инструмента

Мы, нижеподписавшиеся, заместитель главного конструктора ОГК-2 по НИОКР Краснов Ю.Н., начальник ТБЦ ц.3. ОАО “Моторостроитель” Филатова Т.И. и начальник ЦТЛ ОАО “Моторостроитель” Учителев В.Г. составили настоящий акт по результатам производственных испытаний в ц.3 ОАО “Моторостроитель” разверток, упрочненных лазерным излучением на модернизированной ЛТУ “Квант-16” по технологии СФ ФИАН.

Результаты испытаний:

При обработке деталей типа «Днище» (материал детали – пакет: бронза БРХ-08 и жаропрочная сложнолегированная сталь аустенитного класса ЭИ654 (15X18Н12С4ТЮ)) на вертикально-сверлильном станке модели 2А135 стойкости **разверток** А6121-0005 (материал – сталь Р9К5) не соответствует требованиям производства. С целью повышения стойкости инструмента было проведено упрочнение его режущей кромки лазерным излучением на установке “Квант-16” по технологии и режимам СФ ФИАН. Испытания проводились в цехе 3 ОАО “Моторостроитель” в рамках работ по хозяйственному договору №115 «Технология» на режимах, соответствующих технологическим.

Результаты испытаний показали, что развертки, упрочненные лазерным излучением, имеют стойкость в среднем в 1.5 раза выше, чем у серийного неупрочненного инструмента.

Настоящий акт составлен на основании технической справки № Р4002-07 от 10.07.02.



Зам. гл. конструктора ОГК-2 по НИОКР  
 ОАО “Моторостроитель”

Начальник ТБЦ ц.3. ОАО “Моторостроитель”

Начальник ЦТЛ ОАО “Моторостроитель”

Краснов Ю.Н.  
 “22” X 2002г.  
 Филатова Т.И.  
 “23” октября 2002г.  
 Учителев В.Г.  
 “24” авг. 2002г.

**“УТВЕРЖДАЮ”**  
 Технический директор  
 ОАО “Моторостроитель”

**АКТ**

производственных испытаний режущего инструмента

Мы, нижеподписавшиеся, заместитель главного конструктора ОГК-2 по НИОКР Краснов Ю.Н., начальник ТБЦ ц.18. ОАО «Моторостроитель» Никифоров В.С. и начальник ЦТЛ ОАО “Моторостроитель” Учителев В.Г. составили настоящий акт по результатам производственных испытаний в ц.18 ОАО «Моторостроитель» сверл, упрочненных лазерным излучением на модернизированной ЛТУ “Квант-16” по технологии СФ ФИАН.

Результаты испытаний:

При обработке детали 253.440.002 «Ступица» (материал детали ХН73МБТЮ-ВД) на радиально-сверлильном станке модели 2А55С стойкости **сверл** 6103-2239 (материал сверл – сталь ЭП657 (P12МЗФ2К8)) не соответствует требованиям производства. С целью повышения стойкости инструмента было проведено упрочнение его режущих поверхностей лазерным излучением на установке “Квант-16” по технологии и режимам СФ ФИАН. Испытания проводились в цехе 18 ОАО “Моторостроитель” в рамках работ по хозяйственному договору №115 «Технология» на режимах, соответствующих технологическим.

Результаты испытаний показали, что сверла, упрочненные лазерным излучением по передней поверхности, имеют стойкость в среднем в 1,8 раза выше серийных неупрочненных сверл, а стойкость сверл, упрочненных по задней поверхности, находится на уровне стойкости контрольного инструмента.

Настоящий акт составлен на основании технической справки № Р4002-09 от 10.07.02.

Зам. гл. конструктора ОГК-2 по НИОКР  
 ОАО “Моторостроитель”

Начальник ТБЦ ц.18 ОАО “Моторостроитель”

Начальник ЦТЛ ОАО “Моторостроитель”

Краснов Ю.Н.  
 “22” X 2002г.  
 Никифоров В.С.  
 “23” X 2002г.  
 Учителев В.Г.  
 “24” авг. 2002г.



## Состояние разработки

- Пройдены этапы научно-исследовательской работы по анализу структуры и фазового состава зоны лазерного воздействия;
- Разработаны технологические процессы лазерного упрочнения (технологическая инструкция и др. нормативная документация);
- Разработана специализированная лазерная технологическая установка на основе твердотельного импульсного лазера с активным элементом из стекла с Nd для термообработки инструмента (определены требования к ЛТУ);
- Имеется богатый опыт внедрения технологического процесса лазерного упрочнения на машиностроительных предприятиях.

## Основные проблемы

- Низкий объем финансирования;
- Отсутствие современного оборудования, что не позволяет рекомендовать предприятиям-потребителям технологии лазерного упрочнения на современном уровне;
- Неудовлетворительное обеспечение кадрами предприятий, имеющих лазерное технологическое оборудование;
- Низкое информационное обеспечение предприятий, заинтересованных в использовании лазерного технологического оборудования.

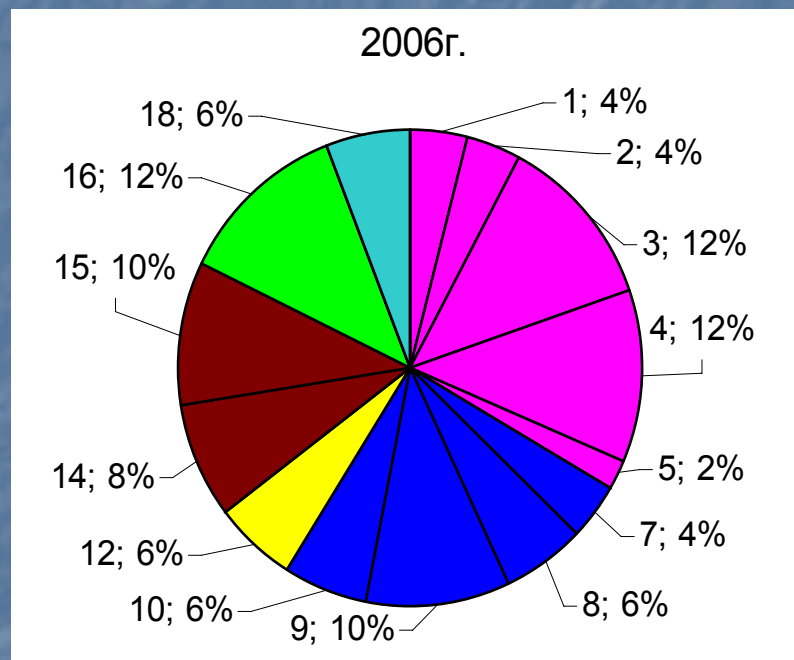
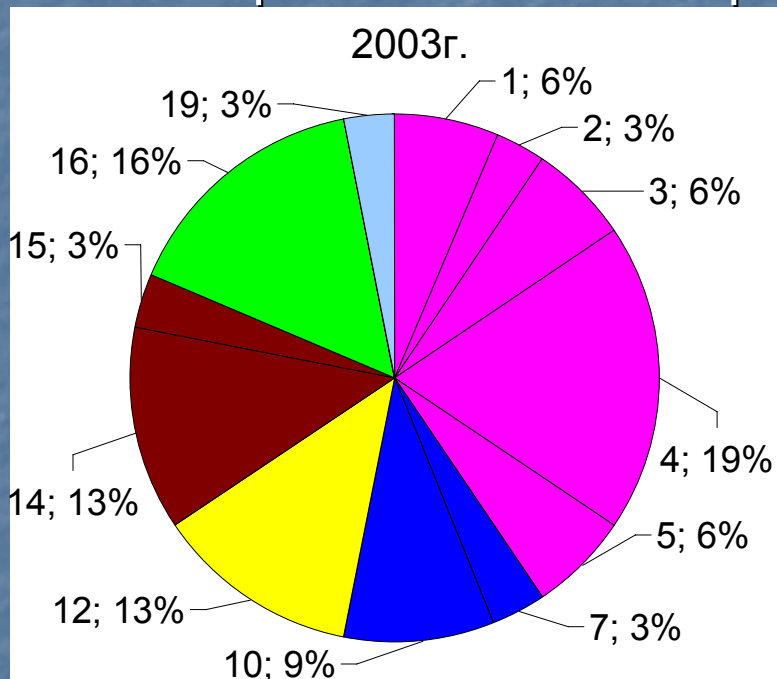
## Задачи

- Расширение рынка потребителей технологий лазерной упрочняющей обработки материалов;
- Модернизация парка лазерного оборудования (приобретения нового оборудования);
- Расширение номенклатуры обрабатываемых изделий, повышение качества и снижение себестоимости работ.



# Технология и оборудование импульсной лазерной упрочняющей обработки для инструментального производства

## Оборудование для импульсной лазерной упрочняющей обработки металлообрабатывающего инструмента



- 1 Раскрой металлов до 2 мм
- 3 Раскрой металлов до 10 мм
- 5 Раскрой неметаллов
- 7 Прецизионная сварка (глубина до 1 мм)
- 9 Сварка (глубина до 5 мм)
- 11 Быстрое прототипирование
- 13 Сверление отверстий в керамике
- 15 Термоупрочнение штампов и инструмента
- 17 Скрайбирование
- 19 Никакие из перечисленных

- 2 Раскрой металлов до 5 мм
- 4 Раскрой металлов свыше 10 мм
- 6 Раскрой керамики
- 8 Сварка (глубина до 2 мм)
- 10 Сварка (глубина свыше 5 мм)
- 12 Сверление отверстий в металлах
- 14 Термоупрочнение деталей
- 16 Маркировка
- 18 Другие

Технологические операции, представляющие интерес для предприятий Самарской области, желающих использовать ЛТО

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!**

Контакт:

**Ярьско Сергей Игоревич**

к.т.н., с.н.с., ученый секретарь СФ ФИАН

тел.: 846-334-57-64

факс: 846-335-56-00

e-mail: [scisec@fian.smr.ru](mailto:scisec@fian.smr.ru)