

УДК 672.822.1+631.301004.67:621.923.7

**О. В. Благодарная**

Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», Могилёв

**ТЕХНОЛОГИЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ ШВЕЙНЫХ ИГЛ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА**

Изложена технология магнитно-абразивного полирования (далее — МАП) швейных игл, позволяющая значительно улучшить их качество. Особенность технологии: одна электрофизическая операция заменяет четыре механических, что повышает производительность обработки.

**Введение.** Магнитно-абразивная обработка (далее — МАО) широко применяется в качестве отделочной операции при обработке различных деталей машин. Однако для таких деталей, как например, швейные иглы, пока не разработаны соответствующие устройства и способы обработки. Актуальными и важными в связи с этим являются базирующиеся на основополагающих представлениях теории и практики МАО исследования, цель которых — теоретически обосновать возможность применения для окончательной обработки швейных игл метода МАП.

Разработаны теоретические основы и предложен способ МАП швейных игл, заменяющий несколько технологических операций одной, которая позволяет одновременно уменьшить шероховатость рабочей поверхности иглы, снять заусенцы и округлить края отверстия ушка иглы для нити, закруглить вершину острия иглы, сгладить переход от конуса вершины острия к лезвию иглы (снять между ними фаску), повысить микротвёрдость и износостойкость поверхности рабочей части иглы. Разработано и изготовлено устройство для МАП швейных игл [1].

В результате анализа процесса шитья впервые предложены частные критерии оценки качества швейной иглы, характеризующие основные свойства её рабочей части, обеспечивающей процесс шитья: кри-

терий наличия заусенцев  $K_z$ ; критерий радиуса закругления краёв отверстия  $K_{or}$ ; критерий наличия фаски на вершине иглы  $K_f$ ; критерий радиуса закругления вершины иглы  $K_R$ ; критерий шероховатости рабочей поверхности иглы  $K_s$ ; критерий прочности швейной иглы  $K_\sigma$ ; критерий износостойкости иглы  $K_j$ .

Частные критерии качества ( $K_z, K_f, K_R, K_s, K_\sigma, K_j$ ) определяются по следующим формулам:

$$K_i = 1 - \frac{p_i}{p_{\max}}$$

где  $p_i, p_{\max}$  — измеренное и максимальное значение величин параметра, мм, соответственно;

$$K_{or} = \frac{1 + or_i}{1 - or_{\min}}$$

где  $or_i, or_{\min}$  — измеренное и минимальное значение радиуса закругления краёв отверстия ушка иглы, мм, соответственно.

Рассмотрены силы, действующие на иглу в процессе шитья (рисунок 1). При погружении иглы в материал остриё действует по принципу ножа, продвигаясь под действием силы  $P$  и испытывая при этом сопротивление разрезанию (смятию) материала лезвием клина  $R_1$ , раздвиганию



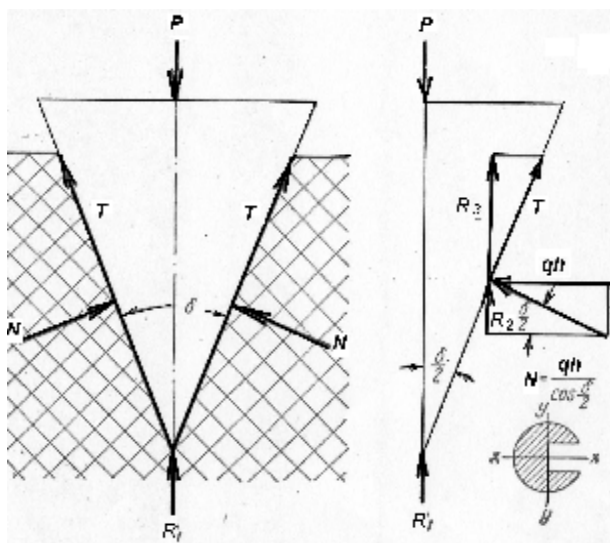


Рисунок 1 — Силы, действующие на иглу в процессе шитья

материала  $N$ , трению острия о материал  $T$ . Остриё имеет радиус закругления, поэтому при его вхождении в материал появляется сопротивление  $R_1$ , преодоление которого приводит к разрушению волокон материала и их раздвиганию.

Спроектировав все силы сопротивления по направлению движения острия иглы, получим усилие  $P$ , необходимое для продвижения острия в материале (см. рисунок 1):

$$P = R_1 + 2R_2 + 2R_3 = R_1 + 2N \cdot \sin \frac{\delta}{2} + 2T \cdot \cos \frac{\delta}{2} =$$

$$= R_1 + 2qh \cdot \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} + 2fqh,$$

$$R_2 = N \cdot \sin \frac{\delta}{2} = \frac{qh \cdot \sin \frac{\delta}{2}}{\cos \frac{\delta}{2}} = qh \cdot \operatorname{tg} \frac{\delta}{2},$$

$$R_3 = T \cdot \cos \frac{\delta}{2} = fN \cdot \cos \frac{\delta}{2} = \frac{fqh \cdot \cos \frac{\delta}{2}}{\cos \frac{\delta}{2}} = fqh.$$

При рассмотрении механизма воздействия абразивной частицы на рабочую часть швейной иглы в процессе МАП установлено

[2], [3], что процесс контактирования абразивных частиц с поверхностью иглы носит случайный, хаотичный характер, зависящий от нескольких факторов, и потому не может быть описан какой-либо определённой аналитической зависимостью. Физико-математическая модель МАП швейных игл может быть описана уравнением Навье—Стокса, полученным на основе магнитной гидродинамики:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\rho v^2}{2} + \rho w + \frac{\overline{DE}}{2} + \frac{\overline{BH}}{2} \right) + \frac{\delta^2}{\gamma} - \overline{\delta E}_{\text{стоп}} =$$

$$= -\operatorname{div} \left\{ \overline{v} \left( \frac{\rho v^2}{2} + \rho w + p - \delta \right) - \chi \operatorname{grad} T + [\overline{EH}] \right\},$$

- где  $\rho$  — плотность (масса единицы объёма), кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  — ускорение силы тяжести, 9,8 с<sup>-2</sup>;  
 $\eta, \zeta$  — первый и второй коэффициенты вязкости;  
 $w$  — внутренняя энергия единицы массы;  
 $\delta$  — вязкий тензор механического напряжения;  
 $\chi$  — коэффициент теплопроводности,  
 $T$  — температура, град;  
 $\operatorname{grad} p T$  — градиент скалярного температурного поля;  
 $\operatorname{div}$  — дивергенция (расходимость);  
 $[\overline{EH}]$  — вектор магнитной составляющей силы Лоренца в магнитном поле напряжённостью  $H$  (вектор напряжённости магнитного поля  $H$ ).

В уравнении Навье—Стокса первое слагаемое в правой части представляет силу, действующую на единицу объёма и вызванную перепадом давления на единицу длины, второе — силу тяжести, третье и четвертое — силу вязкого трения, последнее — электромагнитную силу. Уравнение Навье—Стокса позволило определить факторы, наиболее заметно влияющие на эффективность

МАП, которые необходимо учитывать при проектировании соответствующего устройства. В нём должен быть достаточный объём абразивных частиц, чтобы обеспечить перепад давления на единицу длины, частицы должны обладать определённой массой и плотностью и не быть плотно прижатыми между собой и обрабатываемой поверхностью, чтобы обеспечить трение между ними, а также на них должна действовать электромагнитная сила.

Для описания процесса в связи с хаотичным характером контактирования абразивных частиц с поверхностью иглы используются статистические характеристики. Когда на своём пути частицы встречают преграду в виде цилиндра (швейной иглы), то они обтекают этот цилиндр с двух сторон, прижимаясь к его поверхности и царапая её острыми гранями, совершая так называемое микрорезание [3]. Если бы этот цилиндр (игла) не двигался, а стоял бы на месте, то абразивные частицы, обтекая его с двух сторон под давлением сил  $\bar{F}$ , обрабатывали бы лишь поверхность окружности этого цилиндра,

причём наибольшие силы резания были бы в точках начала и конца полуокружности, встречающей поток абразивных частиц (рисунок 2, а). При обратном движении абразивных частиц, когда происходит переключение электромагнита, физическая картина процесса сохраняется, но уже с противоположной стороны цилиндра (см. рисунок 2, б).

Для исследования степени влияния режимных факторов на качество швейных игл разработана физико-математическая модель МАП швейной иглы [4], [5], устанавливающая взаимосвязь между режимными факторами электромагнитного поля и качеством рабочей части иглы, позволяя при этом оценить влияние каждого фактора на качество обработки:

$$\bar{y} = 0,5875 + 0,03125x_1 + 0,06875x_2 + 0,01875x_3 + 0,03125x_1x_2 - 0,01875x_1x_3 + 0,01874x_2x_3 - 0,01875x_1x_2x_3,$$

где числовые значения — коэффициенты эффекта взаимодействия;

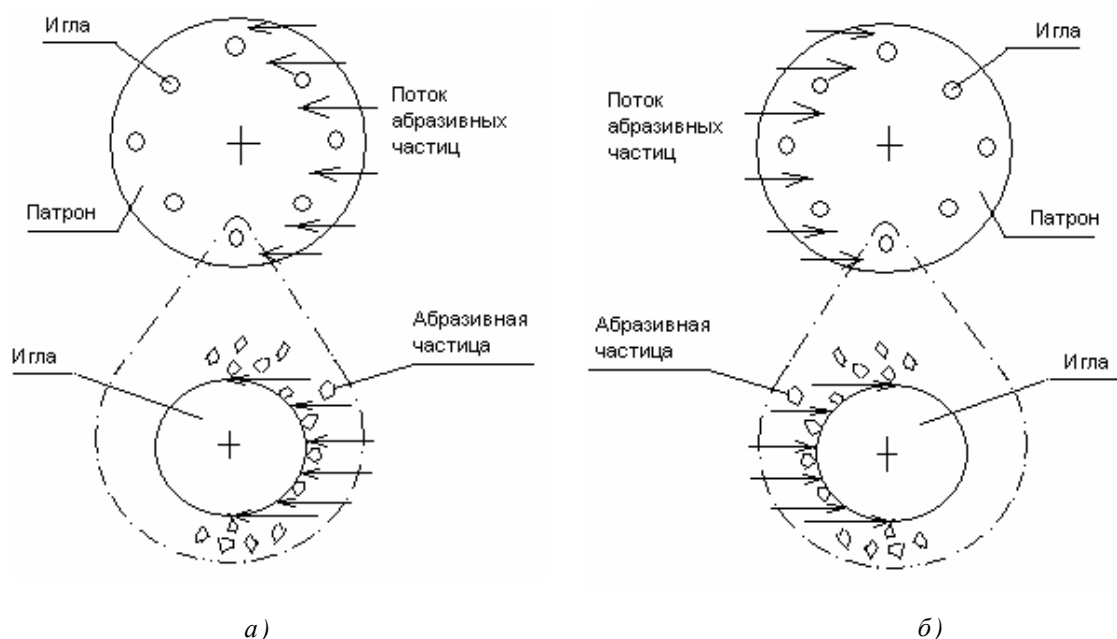


Рисунок 2 — Схема обтекания поверхности неподвижной швейной иглы при движении абразивных частиц

$x_1, x_2, x_3$  — независимые переменные ( $x_1$  — фактор планетарного движения иглы,  $x_2$  — фактор вертикального возвратно-поступательного колебания иглы,  $x_3$  — фактор продольного колебательного движения кюветы с абразивом);  
 у — функция отклика, в качестве которой выступают комплексные критерии качества иглы.

Из уравнения регрессии видно, что наибольшее влияние на качество обрабатываемых игл оказывает фактор планетарного движения иглы  $v$ , равный  $0,12 \text{ м/с}^{-1}$  и фактор вертикальной осцилляции  $n$ , равный  $50 \text{ с}^{-1}$ ,  $A$  — 3 мм. Меньшее влияние на качество иглы оказывает фактор продольной осцилляции кюветы  $n$ , равный  $50 \text{ с}^{-1}$ ,  $A$  — 2 мм, с абразивным ферромагнитным порошком. На процесс микрорезания поверхности иглы существенное влияние оказывает напряжённость магнитного поля.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований и составлен план многофакторного эксперимента для определения значимости режимных факторов на качество швейных игл при МАП (таблица 1). Определены объекты исследования, требования к ним и разработана методика их исследования. В качестве объектов исследований выбраны швейные иглы номеров 70 и 75 Артинского завода, наиболее распространённые на швейных предприятиях России и Беларуси.

Разработана конструкция устройства для МАП швейных игл, на которое получен патент [1]. На устройстве одновременно может обрабатываться 16 швейных игл (рисунок 3).

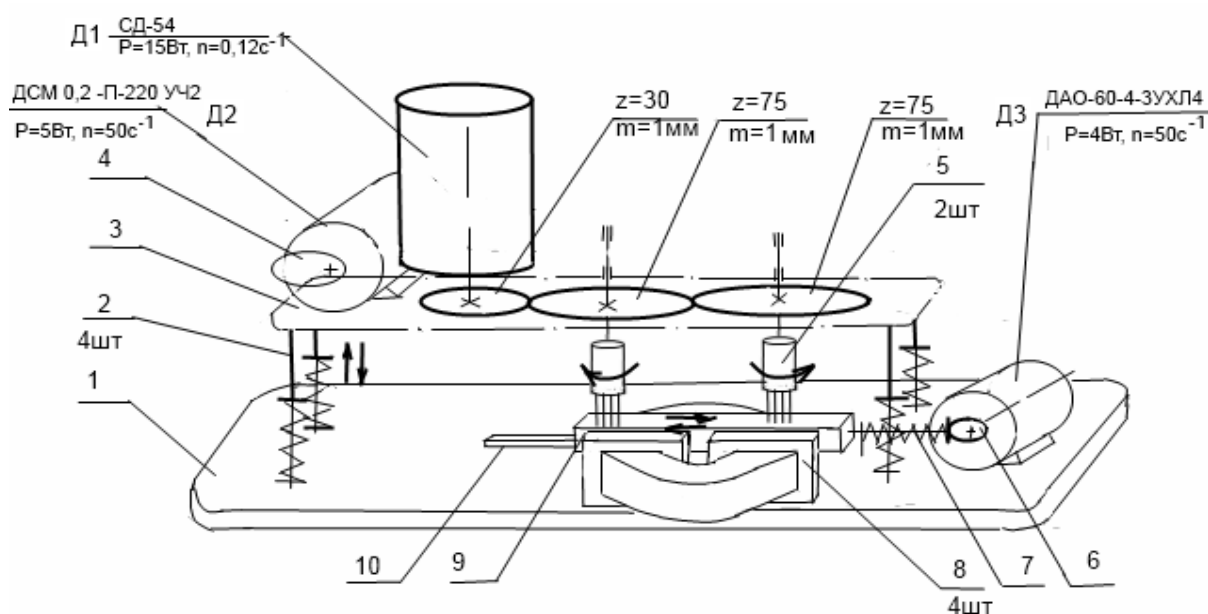
Проведены экспериментальные измерения магнитной индукции в рабочей зоне МАП и получены эпюры распределения магнитной индукции в зоне обработки между полюсами электромагнитов, а также вдоль плоскостей полюсов электромагнитов. Установлено, что магнитная индукция между полюсами электромагнитов действует неравномерно как вдоль плоскостей полюсов электромагнитов, так и между полюсами, причём наибольшие значения магнитной индукции (20 мТл) действуют по краям полюсов (рисунок 4). Исследовано влияние наличия ферромагнитного порошка на изменение магнитной индукции в зоне обработки. Установлено, что наличие порошка не влияет на интенсивность магнитного поля.

В целях ускоренного определения качества при обработке МАП разработано устройство для ускоренных испытаний швейных игл на изгибную прочность и износостойкость (рисунок 5), подтверждённое патентом [6], позволяющее получать статистические данные об износостойкости игл в 1 400 раз и об изгибной прочности в 70 раз быстрее, чем при испытаниях на промышленных швейных машинах.

Устройство для ускоренных испытаний швейных игл имеет два контура: первый предназначен для испытаний швейных игл на

Т а б л и ц а 1 — Программа экспериментальных исследований МАП швейных игл

Наименование экспериментов	Исследуемые факторы
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Определение факторов, влияющих на качество швейных игл (многофакторный эксперимент);</li> <li>- оценка значимости влияния факторов на качество швейных игл;</li> <li>- повышение производительности МАП</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Скорость планетарного движения швейных игл;</li> <li>- осцилляция в вертикальной плоскости;</li> <li>- осцилляция кюветы с абразивным порошком;</li> <li>- интенсивность магнитного поля;</li> <li>- время обработки;</li> <li>- скорость планетарного движения швейных игл;</li> <li>- осцилляция в вертикальной плоскости;</li> <li>- осцилляция кюветы с абразивным порошком;</li> <li>- вид и состав абразивного порошка;</li> <li>- наличие эмульсии в абразивном порошке;</li> <li>- наличие минерального масла в порошке</li> </ul>



1 — основание; 2 — пружинная стойка; 3 — платформа; 4 — неуравновешенная масса; 5 — патрон с иглами; 6 — эксцентрик; 7 — тяга с пружиной; 8 — полюсные наконечники электромагнитов; 9 — кювета с порошком; 10 — направляющая; Д1, Д2, Д3 — электродвигатели;  $z$  — зубчатые колёса

Рисунок 3 — Схема устройства для МАП швейных игл



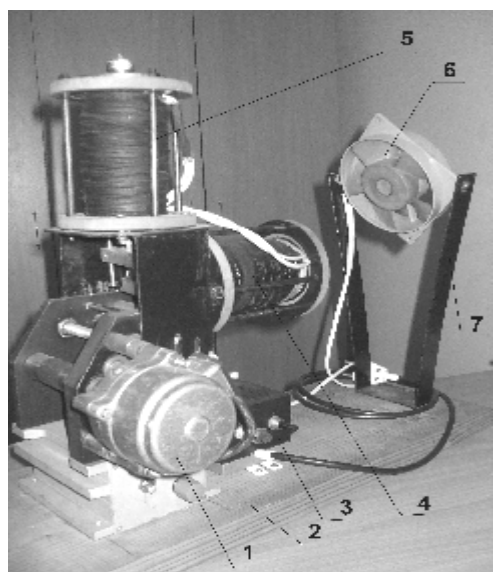
Рисунок 4 — Распределение магнитной индукции между полюсами электромагнитов и на их полюсах (затемнённая часть соответствует кювете с ферромагнитным порошком)

изгибную прочность (см. рисунок 6, а), второй — для испытаний игл на износостойкость (см. рисунок 6, б). В зависимости от вида испытаний включается соответствующий контур. Применение данного устройства позволяет производить ускоренные испытания швейных игл по критериям износа и прочно-

сти, получать статистические данные для более точного определения ресурса и качества.

При ускоренных испытаниях швейных игл на прочность по напряжениям изгиба предельная нагрузка на иглы не должна превышать нагрузку, соответствующую напряжениям предела текучести для материала



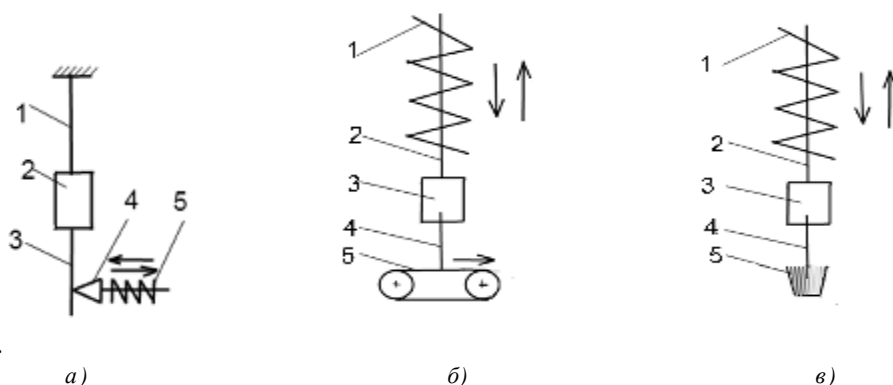


1 — электродвигатель; 2 — основание; 3 — блок управления включением электромагнитных катушек; 4 — электромагнитная катушка контура испытаний игл на изгиб; 5 — электромагнитная катушка контура испытаний игл на износостойкость; 6 — вентилятор; 7 — кронштейн

**Рисунок 5 — Устройство для испытаний швейных игл**

иглы. В качестве способа нагружения игл принята величина амплитуды изгиба игл с помощью нагружающего ножа, вычисляемая по формуле

$$y = \frac{\sigma_t l^3}{12Er^2},$$



a — схема испытаний на изгибную прочность: 1 — тяга; 2 — иглодержатель; 3 — игла; 4 — нож клиновидный; 5 — электромагнитная катушка; б) — схема испытаний на износостойкость на ткани: 1 — электромагнитная катушка; 2 — сердечник; 3 — иглодержатель; 4 — игла; 5 — ткань на транспортёре; в) — схема испытаний на износостойкость в песке: 1 — электромагнитная катушка; 2 — сердечник; 3 — иглодержатель; 4 — игла; 5 — кювета с песком

**Рисунок 6 — Схемы ускоренных испытаний швейных игл**

где  $\sigma_t$  — предел текучести материала иглы,  $\approx 200$  МПа;

$l$  — длина рабочей части иглы,  $\approx 20$  мм;

$r$  — радиус лезвия иглы, равный 0,35 мм;

$E$  — модуль упругости материала иглы, равный  $2,1 \cdot 10^5$  МПа.

При испытаниях на износостойкость (см. рисунок 6, б) иглодержатель 3, соединённый с помощью резьбы с сердечником 2 электромагнита 1, получает возвратно-поступательное движение определенной амплитуды. При этом иглы прошивают ткань 5, которая медленно прокручивается при помощи роликового транспортера, получающего движение от электродвигателя. В процессе испытаний швейные иглы трутся о ткань и изнашиваются. Последовательно, через определённые промежутки времени, производится контроль изношенности игл.

Можно ускорить процесс испытаний. Для этого сначала проводятся испытания игл на ткани. Определяется их средний ресурс. Затем ткань убирается и между стенками устройства закрепляется кювета 5 (см. рисунок 6, в) с абразивным песком. В этом случае при вертикальном возвратно-поступательном движении игл их вершины скользят между частицами песка, находящегося в кювете. Износ происходит значительно быстрее. Ускорение испытаний



в песке по сравнению с испытаниями в ткани определяется из выражения

$$K_y = \frac{T_{\text{пес}}}{T_{\text{тк}}},$$

где  $T_{\text{пес}}$ ,  $T_{\text{тк}}$  — затраты времени на испытания игл в песке и ткани соответственно, ч [7].

Проведены исследования влияния типа и размеров зёрен порошка на производительность обработки швейных игл. Установлено, что наибольшая эффективность обработки швейных игл МАП получается при применении порошка, полученного из смеси частиц серого чугуна СЧ30 и частиц из быстрорежущей стали Р6М5 с величиной частиц 50...500 мкм (рисунок 7).

Исследовано влияние наличия рабочей жидкости и концентрации порошка в жидкости на производительность МАП. В качестве рабочей жидкости применялся 3%-й водный раствор триэтаноламина. Установлено, что наибольшая эффективность достигается при концентрации порошка в рабочей жидкости, равной 50%. При уменьшенной концентрации порошка или при её увеличении производительность обработки падает, а при работе с сухим порошком и с концентрацией порошка 75% разница в производительности очень мала.

Были проведены измерения шероховатости поверхности рабочей части иглы до и после обработки МАП на профилографе-профилометре АБРИС-ПМ7. Измерения проводились в районе углубления над ушком (пред-

ставляющим плоскую площадку, удобную для измерения) на базовой длине (сначала на 0,8, потом на 0,25 мм). На базовой длине 0,8 мм разницы в измеренных величинах практически не было, а на базовой длине 0,25 мм были заметны изменения. Измерения дали следующие результаты: до обработки  $R_a$  составляет 0,05 мкм,  $R_z$  — 0,18...0,20 мкм,  $R_{\text{max}}$  — 0,17...0,18 мкм; после обработки МАП  $R_a$  — 0,04 мкм,  $R_z$  — 0,17...0,18 мкм,  $R_{\text{max}}$  — 0,16...0,17 мкм. Увеличивается почти в 1,5 раза микротвёрдость, соответственно увеличивается износостойкость. В процессе МАП происходит выравнивание острия вершины иглы, срезаются острые грани и заусенцы.

Анализ результатов измерений показал, что по параметру  $R_a$  изменения составили примерно 20%, по параметру  $R_z$  — 6%,  $R_{\text{max}}$  — 6%. Таким образом, шероховатость рабочей части швейных игл снижается после обработки МАП.

Получены зависимости изменения радиуса вершин игл при воздействии различных видов относительных движений абразивных зёрен порошка и швейных игл. Наибольшее влияние на изменение радиуса вершины иглы оказывает одновременное воздействие планетарного движения и вертикальной осцилляции иглы (рисунок 8). Получены зависимости изменения размеров фаски на рабочей части швейной иглы при воздействии различных режимных факторов в процессе МАП. Наибольшее влияние на изменение фаски оказывает продольная осцилляция кюветы с абразивным порошком (рисунок 9).

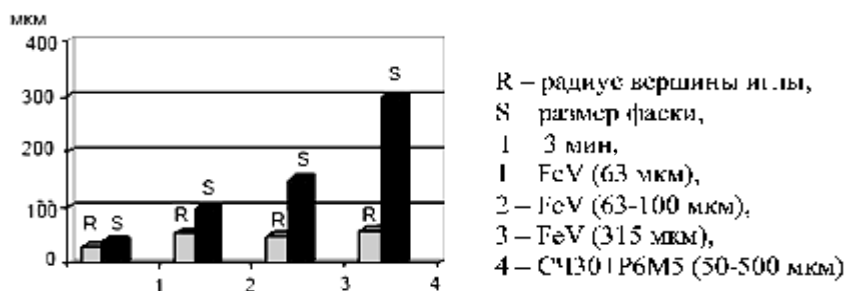


Рисунок 7 — Диаграмма изменения параметров швейной иглы при обработке различными порошками



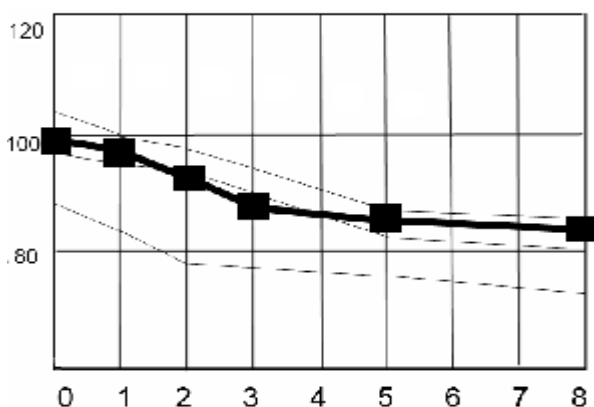


Рисунок 8 — Изменение радиуса вершин игл при планетарном движении иглы и вертикальной осцилляции

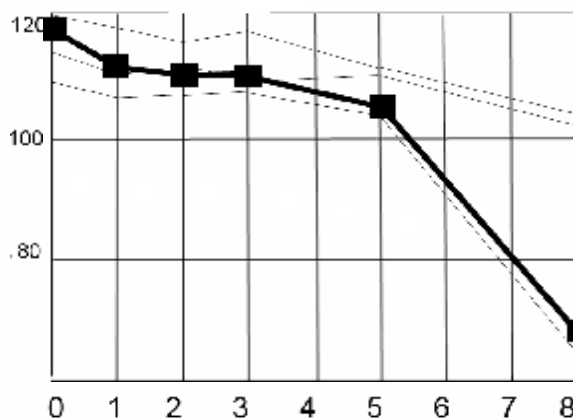


Рисунок 9 — Изменение размера фаски при осцилляции кюветы с абразивом

**Заключение.** Расчёт технико-экономической эффективности МАП швейных игл показал, что при увеличении затрат на финишную операцию игл на 60 белорус. р. показатель экономической эффективности, определяемый повышением комплексного показателя качества, составил 4,47. Если сравнивать со швейными иглами зарубежной фирмы ORGAN, на 10 швейных иглах, обработанных МАП, экономия составляет 6 110 белорус. р. по ценам 2010 года. Таким образом, иглы, обработанные МАП, не уступают по качеству швейным иглам ведущих зарубежных фирм, а себестоимость оказывается в 3...4 раза ниже.

**Список цитируемых источников**

1. Устройство для полирования швейных игл : пат. 15528 Респ. Беларусь, МПК В 24 В / О. В. Благодарная, В. М. Благодарный ; заявитель Беларус.-Рос. ун-т. — № а 20081195 ; заявл. 22.09.08 ; опубл. 25.11.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2011.
2. Божкова, О. Техничко-экономическая эффективность абразивного полирования швейных игл / О. Бож-

кова, О. Барборак, А. Минаков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. 20—21 апр. 2006. — Могилёв : [б. и.], 2006. — С. 193—194.

3. Божкова, О. В. Механизм воздействия абразивной частицы на поверхность швейной иглы в магнитном поле / О. В. Божкова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. конф. 17—18 апр. 2008 г. — Могилёв : БРУ, 2008. — С. 71—72.

4. Божкова, О. В. Расчёт жёсткости, устойчивости и прочности швейной иглы / О. В. Божкова // Вестн. БРУ. — 2006. — № 3. — С. 57—63.

5. Божкова, О. В. Кинематика магнитно-абразивной обработки швейных игл / О. В. Божкова // Новые технологии и оборудование в промышленности : сб. науч. тр. молодых учёных. — Могилёв : [б. и.], 1997. — С. 19—23.

6. Устройство для ускоренных испытаний швейных игл : пат. 6184 U Респ. Беларусь, МПК G 01 M 13/02 / О. В. Благодарная, В. М. Благодарный; заявитель Баранович. гос. ун-т. — № и 20090149; заявл. 27.02.09; опубл. 03.02.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2010.

7. Благодарная, О. В. Технологическое обеспечение качества рабочих поверхностей швейных игл магнитно-абразивным полированием: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / О. В. Благодарная. — Могилёв: [б. и.], 2012. — 169 л.

Материал поступил в редакцию 22.11.2012 г.

The paper describes the methodology of magnetically-abrasive polishing sewing needles to improve the quality of their working surfaces. The technology allows us to replace a four mechanical operation of Electro, thus increasing productivity and reducing the cost of treatment of sewing needles. The design of a device for magnetic-abrasive polishing sewing needles, stands out as the grant of the RB patent. The developed device for short-time approval testing sewing needles consists of two units — one is for testing the resistance under the bending stress; the other is for testing the durability of sewing needles. This device for short-time approval testing provides data on the working capacity of sewing needles in a short time (15 min).

