

*Шрубченко И. В., д-р техн. наук, проф.,  
Рыбалко В. Ю., аспирант,  
Мурыгина Л. В., аспирант,  
Щетинин Н. А., аспирант*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## **К ИССЛЕДОВАНИЮ РЕЖИМОВ ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАЧЕНИЯ БАНДАЖЕЙ И РОЛИКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАРАБАНОВ**

**shrubens@yandex.ru**

*Предложено использовать ленточное шлифование для обработки крупногабаритных изделий, таких как, бандаж и опорные ролики технологических барабанов. Представлены некоторые аспекты исследований по формированию шероховатости поверхностей. Установлены основные факторы, оказывающие влияние на формирование поверхности. Представлены номограммы режимов ленточного шлифования для различных типоразмеров бандажей.*

***Ключевые слова** бандаж, мобильные технологии, шлифовальная головка, бесконечная шлифовальная лента, зернистость ленты, шероховатость поверхности, твердость ролика, режимы ленточного шлифования, построение номограмм.*

Для обеспечения заданной точности формы поверхностей крупногабаритных деталей, например, таких как бандаж и ролики вращающихся технологических барабанов (ТБ), широко применяются различные мобильные оборудование. Такое оборудование позволяет осуществлять обработку поверхностей непосредственно на работающем агрегате, без остановки производственного процесса. На кафедре технологии машиностроения Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова была разработана и успешно апробирована конструкция универсального встраиваемого станка модели УВС-01 [1]. Технологический процесс с применением такого станка предполагает в основном лезвийную обработку со съемом больших по величине припусков. Следует иметь в виду, что особенностью обработки поверхностей качения бандажей ТБ является бесцентровая схема, поэтому режимы обработки требуют тщательного подбора и анализа и особенно это относится к величине снимаемого припуска. Ряд проведенных ранее исследований [2, 3] показал, что оптимальной глубиной резания для таких схем обработки является достаточно большие величины, которые могут достигать более 3...4 мм. Однако при таких жестких режимах в технологической системе возникают значительные по величине силы резания, а значит и отжатия, что, в конце концов, не позволяет получить необходимой точности. Очевидно, чтобы повысить точность обработки поверхностей качения бандажей, требуется осуществлять съем существенно меньших по величине припусков за каждый рабочий ход. Так как длина обрабатываемых поверхностей достигает 1000...1100 мм, то при частоте вращения 1 об/мин для бандаж диаметром 6100 мм, основное время одного рабочего хода может достигать примерно 1000 мин. Безусловно, уменьшение глубины резания повлечет за собой значительное увеличение необходимо-

го времени. Попытки увеличения производительности за счет изменения подачи и геометрии режущего инструмента также не всегда позволяют обеспечить надлежащее качество обработки. Чтобы обеспечить необходимую точность и шероховатость поверхности требуется с одной стороны существенно уменьшить глубину резания на каждом рабочем ходе, а с другой стороны – уменьшить основное время выполнения рабочего хода. Такую противоречивую задачу позволит решить применение ленточно-абразивной обработки.

С целью расширения технологических возможностей предложено конструкцию универсального встраиваемого станка УВС-01 оснастить шлифовальной головкой рис. 1 [4]. Установка, оснащенная бесконечной шлифовальной лентой 1, базируется на траверсе 2 динамического самоустанавливающегося суппорта (ДСС). В конструкции предусмотрены сменные опоры: одиночные ролики 3, роликовые блоки 4 или плоские опоры 5, применение которых позволяет по разному осуществлять влияние на динамику процесса формирования поверхности при таких схемах обработки. Кроме того, конструкция ДСС позволяет изменять также межосевой размер опор и радиальное положение шлифовальной установки, что также оказывает влияние на процесс формирования поверхности. Вся конструкция ДСС имеет несколько степеней свободы: покачивание вокруг шарниров 6 и осевые перемещения относительно продольного суппорта станка, что в свою очередь позволяет осуществлять копирование глобальных перемещений, вызываемых взаимным влиянием погрешности бандаж с опорами технологического барабана. Применение ленточного шлифования для таких крупногабаритных изделий как бандаж и опорные ролики ТБ, является принципиально новой задачей и требует проведения ряда исследований, как по формированию точности,

так и шероховатости поверхностей. В данной статье представлены некоторые аспекты исследований по формированию шероховатости поверхностей качения бандажей.

С учетом ранее проведенных исследований [5] было установлено, что при ленточном шлифовании с постоянным усилием прижима основными факторами, оказывающими влияние на шероховатость поверхности, являются: зернистость абразивной ленты  $d_3$ , твердость обремененного покрытия контактного ролика  $H_s$  и скорость изделия  $v_u$ .

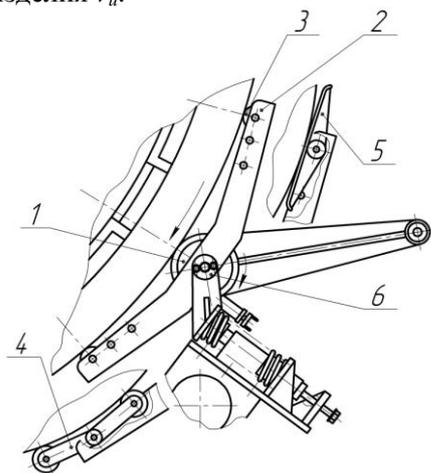


Рис. 1. Универсальный встраиваемый станок УВС-01, оснащенный шлифовальной установкой

Для обеспечения заданного уровня шероховатости поверхности бандажей ТБ необходимо получить оптимальные значения вышеприведенных параметров. Учитывая возможность их варьирования в значительных диапазонах, построим номограммы, которые позволят выбирать необходимые режимы для различных схем и параметров обработки применительно к обработке поверхностей качения бандажей и роликов ТБ.

Функции определения количества элементов в матрице.

```

z :=
for i1 ∈ 1..n1
  for i2 ∈ 1..n2
    m11,i2 ←  $\frac{\log(Ra) + 3.6481 - 2.0507\log(d_{i1}) - 0.1313\log(V_{i2})}{(1.6939 - 0.7805\log(d_{i1}))}$ 
  
```

Цикл последовательного вычисления значений логарифма твердости контактного ролика в зависимости от варьируемых параметров

```

Xm :=
for i1 ∈ 1..n1
  for i2 ∈ 1..n2
    m11,i2 ← di1
  
```

```

Ym :=
for i1 ∈ 1..n1
  for i2 ∈ 1..n2
    m11,i2 ← Vi2
  
```

Задание матриц значений зернистости и скорости резания.

```

Hww :=
for i1 ∈ 1..n1
  for i2 ∈ 1..n2
    m11,i2 ← 10Zi1,i2
  
```

Для вычисления параметров и построения номограмм будем использовать математическую модель [5]:

$$R_a = 2,25 \cdot 10^{-4} d_3^{2,05(1-0,381 \lg H_s)} H_s^{1,69} v_u$$

Используя эту математическую модель и варьируя два из трех факторов, можно получить те значения третьего фактора, которые позволят получить необходимую шероховатость поверхности.

Ниже представлен текст программы для определения необходимой твердости контактного ролика, чтобы обеспечить при обработке шероховатость поверхности –  $Ra$  5. Значения зернистости применяемой ленты взяты стандартными, в диапазоне 18...80. Значения скорости резания взяты для различных диаметров бандажей ТБ при частоте вращения 1 об/мин. Получился диапазон фиксированных значений от 11,62 до 26,53 м/мин. Расчеты производились в среде математического моделирования MathCAD.

$Ra := 5$  - Задание значения требуемой шероховатости.

ORIGIN := 1 - Вводится для начала отсчета с единицы.

$d :=$	V <sub>ww</sub> :=	18	11.62
		20	12.25
		25	13.53
		32	15.23
		40	17.17
		50	19.15
		63	21.35
		80	26.53

Ввод значений зернистости шлифовальной ленты и значений скорости резания

$n1 := \text{length}(d)$

$n2 := \text{length}(V)$

Цикл вычисление значений твердости контактного ролика

193.478	191.609	188.14	184.09	180.077	176.5	173.006	166.232
185.649	183.762	180.261	176.179	172.138	168.541	165.031	158.237
167.372	165.458	161.915	157.794	153.726	150.115	146.601	139.826
144.08	142.169	138.64	134.551	130.532	126.978	123.533	116.929
119.853	117.994	114.573	110.627	106.769	103.375	100.099	93.864
92.429	90.704	87.542	83.921	80.406	77.334	74.389	68.839
61.205	59.757	57.123	54.138	51.273	48.797	46.448	42.091
28.865	27.921	26.227	24.344	22.574	21.075	19.68	17.164

Полученные значения твердости контактного ролика

Поверхность отклика модели можно представить как геометрическое место точек, отвечающих только одному, конкретно заданному уровню параметра шероховатости  $Ra$ . При этом во всем факторном пространстве для двух произвольно выбранных значений варьируемых факторов найдется единственное значение третьего, при котором результат их взаимодействия будет находиться на поверхности отклика. В этом случае поверхность отклика модели можно использовать в практических целях как номограмму для определения рациональных режимов ленточного шлифования по гарантированному обеспечению заданной шероховатости поверхности. Из рассматриваемых параметров фикси-

рованными чаще всего являются шероховатость и зернистость. Скорость резания также можно задать дискретными значениями. Следовательно, свободным фактором можно использовать твердость контактного ролика.

На рис. 2 представлены номограммы режимов ленточного шлифования для различных типоразмеров бандажей. Рассматривались восемь различных диаметров, значения скорости резания при обработке которых составляют:  $v_u = 11,62; 12,25; 13,53; 15,23; 17,17; 19,15; 21,35; 26,53$  м/мин. Зернистость ленты задавалась посредством диаметра зерна, который составил:  $d_z = 18 \cdot 10^{-2}; 20 \cdot 10^{-2}; 25 \cdot 10^{-2}; 32 \cdot 10^{-2}; 40 \cdot 10^{-2}; 50 \cdot 10^{-2}; 63 \cdot 10^{-2}; 80 \cdot 10^{-2}$  мм.

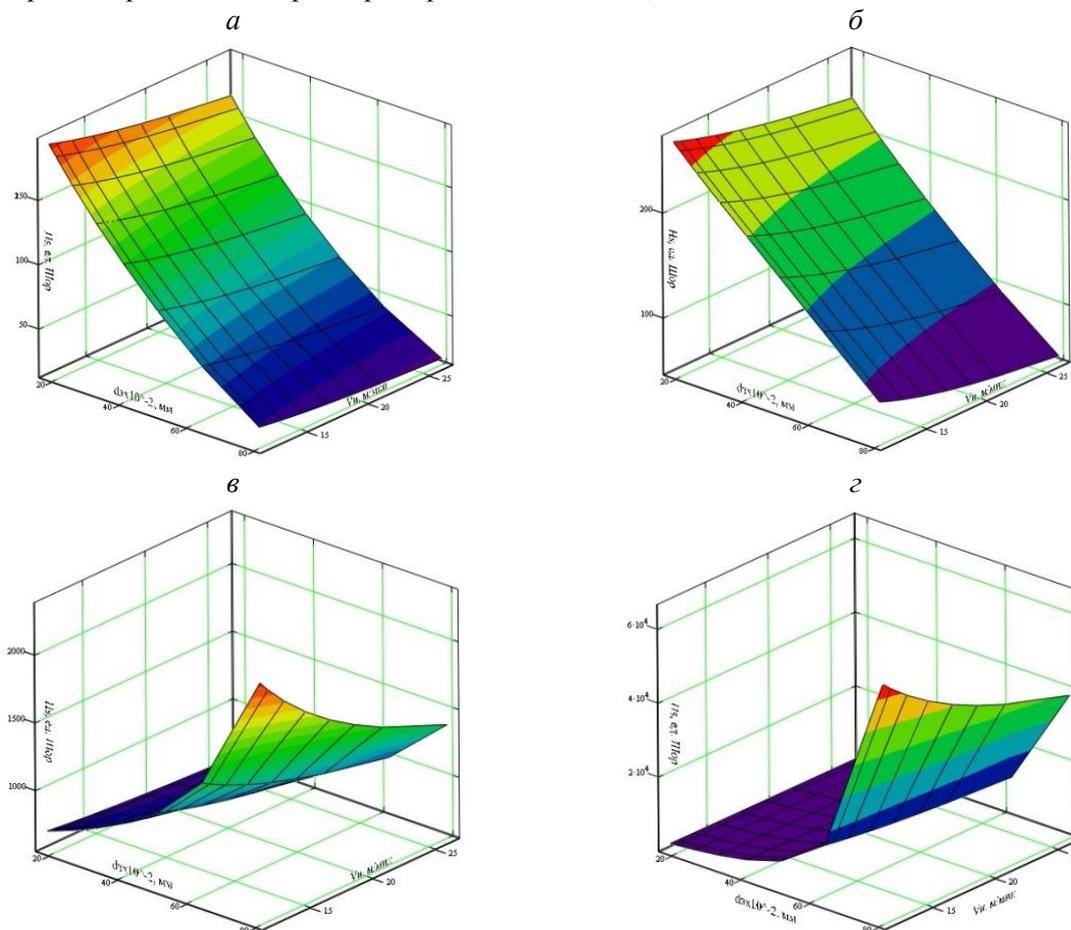


Рис. 2. Номограммы параметров режима ленточного шлифования различных типоразмеров бандажей по гарантированному обеспечению параметров шероховатости поверхности:  
 а –  $Ra \leq 5$  мкм; б –  $Ra \leq 6,3$  мкм; в –  $Ra \leq 12,5$  мкм; г –  $Ra \leq 25$  мкм

Анализ полученных номограмм показывает, что на обеспечение параметров шероховатости  $Ra \leq 5$  мкм и  $Ra \leq 6,3$  мкм значительное влияние оказывает зернистость шлифовальной ленты. Чем меньше зернистость ленты, тем твердость контактного ролика может быть меньше. Для обеспечения параметров шероховатости  $Ra \leq 12,5$  мкм и  $Ra \leq 25$  мкм наблюдается несколько обратная зависимость: чем меньше зернистость – тем твердость контактного ролика должна быть больше.

На рис. 3 представлены номограммы режимов ленточного шлифования поверхностей качения бандажей при обработке на специальном стенде [6]. Значения диаметров обрабатываемых поверхностей выбирались аналогичными значениям, выбранным в предыдущей задаче. Однако, учитывая возможности привода главного движения специального стенда, скорость резания изменялась в пределах от 1 до 22 м/мин с шагом 3 м/мин.

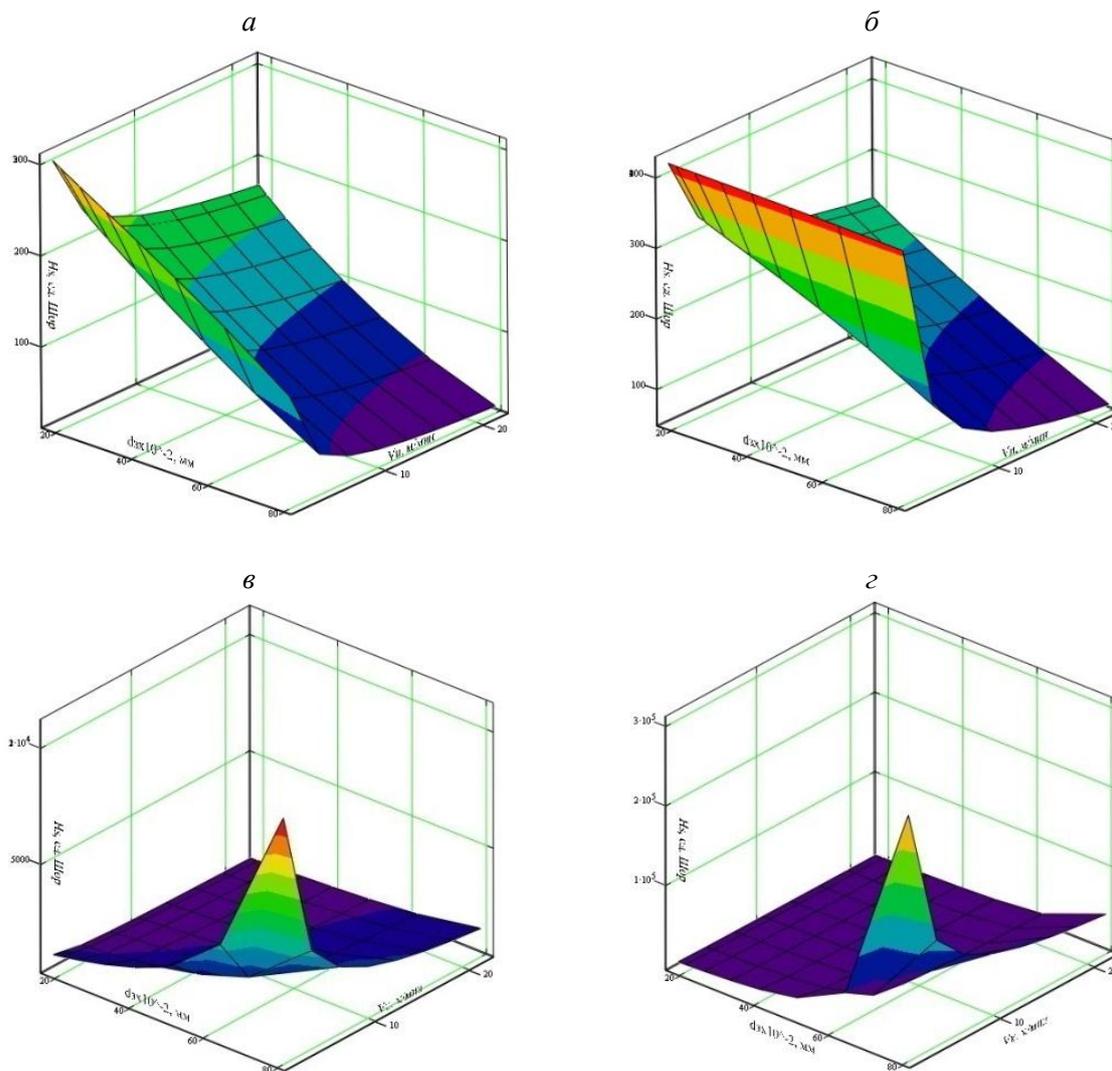


Рис. 3. Номограммы параметров режима ленточного шлифования при моделировании обработки бандажей на стенде по гарантированному обеспечению параметров шероховатости поверхности:

а –  $Ra \leq 5$  мкм; б –  $Ra \leq 6,3$  мкм; в –  $Ra \leq 12,5$  мкм; г –  $Ra \leq 25$  мкм.

Анализ этих номограмм показывает, что на обеспечение шероховатости  $Ra \leq 5$  мкм и  $Ra \leq 6,3$  мкм значительное влияние оказывают оба параметра: при уменьшении зернистости и увеличении скорости резания необходимая твердость контактного ролика уменьшается. Для обеспечения шероховатости  $Ra \leq 12,5$  мкм и  $Ra \leq 25$  мкм наблюдается следующая зависимость: при уменьшении зернистости и небольших зна-

чениях скорости резания требуемая твердость контактного ролика увеличивается; при увеличении скорости резания значения требуемой твердости снижается. Также при одинаковых значениях скорости резания и зернистости, значения твердости увеличиваются с ростом значения шероховатости. В табл. 1 представлены некоторые значения расчетных режимов для обеспечения шероховатости  $Ra \leq 5$  мкм.

Таблица 1

**Расчетные значения параметров режима ленточного шлифования по гарантированному обеспечению шероховатости поверхности  $Ra \leq 5$  мкм**

Скорость изделия $v_{из}$ , м/мин	Зернистость ленты $d_3 \cdot 10^{-2}$ , мм	Твердость ролика $Hs$ , ед. по Шору	Скорость изделия $v_{из}$ , м/мин	Зернистость ленты $d_3 \cdot 10^{-2}$ , мм	Твердость ролика $Hs$ , ед. по Шору
11,62	18	193,478	26,53	18	166,232
	20	185,649		20	158,237
	25	167,372		25	139,826
	32	144,08		32	116,929
	40	119,853		40	93,864
	50	92,429		50	68,839
	63	61,205		63	42,091
	80	28,865	80	17,164	

Однако, лучшие условия по обеспечению привода вращения шлифовальной ленты все же обеспечивают контактные круги обрешиненные. Поэтому возникает необходимость в исследовании зависимости режимов ленточного шлифования при стабильной твердости контактного круга  $Hs = 90^{\circ}A$  по Шору. В табл. 2. представлены результаты расчета, полученные для таких условий.

Результаты исследования показывают, что применение ленточного шлифования для обеспечения требуемого качества поверхностей качения бандажей и опорных роликов возможно и полученные номограммы можно использовать для определения оптимальных значений режимов.

Таблица 2

**Шероховатость поверхности качения бандажа, получаемая при ленточно-абразивной обработке (твердость контактного ролика  $Hs = 90^{\circ}A$  по Шору)**

Скорость изделия $v_{из}$ , м/мин	Зернистость ленты $d_3 \cdot 10^{-2}$ , мм	Шероховатость поверхности $Ra$ , мкм	Скорость изделия $v_{из}$ , м/мин	Зернистость ленты $d_3 \cdot 10^{-2}$ , мм	Шероховатость поверхности $Ra$ , мкм
21,35	18	3,133	26,53	18	3,224
	20	3,311		20	3,407
	25	3,723		25	3,831
	32	4,239		32	4,362
	40	4,766		40	4,904
	50	5,359		50	5,514
	63	6,051		63	6,226
	80	6,86	80	7,059	

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 89012 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В23В 5/00. Станок для обработки бандажей / Шрубченко И.В., Кузнецова И.И., Колобов А.В., Шрубченко М.И.; заявитель и патентообладатель: Белгор. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова. – №2009101625/22; заявл. 19.01.09; опубл. 27.11.09, Бюл. №33 – 2с.

2. Оптимизация параметров бесцентровой обработки крупногабаритных бандажей технологических барабанов на основе математического моделирования / И.В. Шрубченко, И.И. Кузнецова, А.В. Колобов, М.И. Шрубченко // Технология машиностроения. 2008. № 2. С. 55–59.

3. Шрубченко И.В. Предмонтажная и окончательная обработка поверхностей опор при сборке крупногабаритных технологических

барабанов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2006. №10. С. 3–8.

4. Пат. 97954 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 23 В 5/00. Станок для обработки бандажей / Мурыгина Л.В., Шрубченко И.В., Архипова Н.А.; заявитель и патентообладатель: Белгор. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова. – № 2010119624 / 02; заявл. 17.05.2010; опубл. 27.09.2010, Бюл. №27 – 3с.

5. Соколова Л.С. Шлифование абразивными лентами с постоянной силой прижима. М.: Компания Спутник, 2005. – 146 с.

6. Шрубченко И.В. О необходимости обработки поверхностей бандажей технологических барабанов при их сборке // Тяжелое машиностроение. 2006. №10. С. 27–29.