

УДК 629.75

А. П. Минаков, И. Д. Камчицкая, Е. В. Ильюшина, Н. М. Юшкевич

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПНЕВМОВИБРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НАПРАВЛЯЮЩИХ
СТАНИН СТАНКОВ**

UDC 629. 75

A. P. Minakov, I. D. Kamchitskaya, E. V. Ilyushina, N. M. Yushkevich

**TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF PNEUMO-VIBRO-DYNAMIC
TREATMENT OF MACHINE BED WAYS**

Аннотация

В работе приведен расчет технико-экономической эффективности использования способа пневмовибродинамической обработки направляющих станин станков для их ремонта.

Ключевые слова:

упрочнение поверхности, импульсно-ударная пневмовибродинамическая обработка плоских поверхностей, подача, экономический эффект, износ направляющих, технология ремонта.

Abstract

The paper gives the calculation of technical and economic efficiency of using the technique of pneumo-vibro-dynamic treatment in the repair of machine bed ways.

Key words:

surface hardening, impulse-impactpneumo-vibro-dynamic treatment offlatsurfaces, feed, economic effect, wearofmachinebed ways, repair procedure.

Станина является базовой деталью станка, на которой установлены и закреплены все его детали и узлы и относительно которой ориентируются и перемещаются подвижные детали и механизмы. Она должна на протяжении длительного времени обеспечивать правильное взаимное положение и перемещение частей станка. Важнейшим требованием, предъявляемым к направляющим станины, является длительное обеспечение правильного взаимного положения узлов и механизмов, смонтированных на ней, при всех предусмотренных режимах работы станка в нормальных эксплуатационных условиях.

Износ направляющих станины ведет к потере технологической точнос-

ти, снижению качества обработки изделий и изменению первоначальной пространственной траектории движения резца. При непрямолинейном перемещении режущего инструмента в горизонтальной плоскости погрешность формы непосредственно передается на обрабатываемую заготовку (рис. 1).

Было установлено [4], что для направляющих скольжения характерно неравномерное распределение износа по поверхности трения, т. к. они начинают контактировать одновременно не по всей длине (рис. 2). Максимальный износ приходится на середину направляющих. В результате неравномерный по длине направляющих износ поверхности приводит к изменению точности

обработки. Так, если длина хода L устанавливается больше длины направляющих суппорта l_0 , то форму изношенной поверхности можно представить в виде эпюры с тремя участками, где I и III – участки, изнашивающиеся

частью длины суппорта, II – участок, изнашивающийся всей длиной суппорта. При этом интенсивность износа участков I и III – 0,01...0,012 мм, а участка II – 0,04...0,12 мм [4].

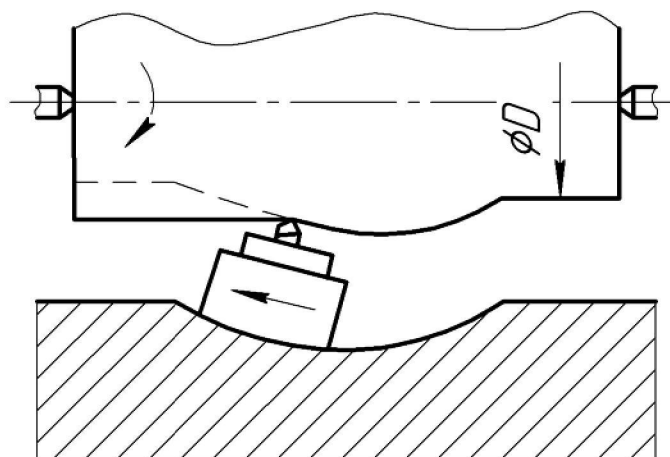


Рис. 1. Схема износа направляющих станин токарных станков

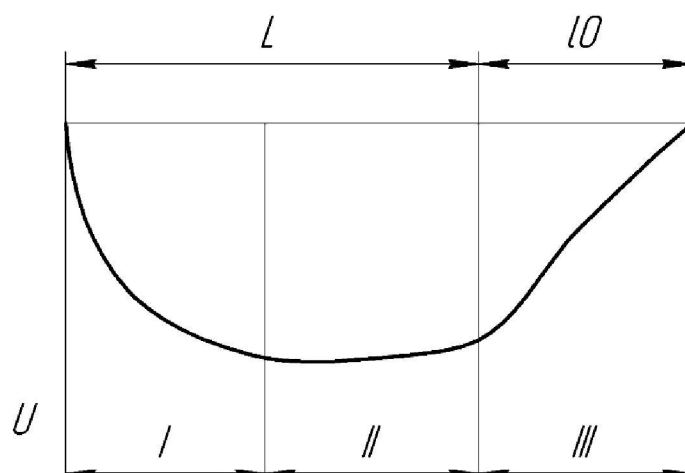


Рис. 2. Обобщенная форма износа направляющих скольжения по их рабочей длине для станков токарной группы

Факт износа направляющих только в зоне обработки был подтвержден и результатами, полученными после проведенного капитального ремонта с использованием пневмовибродинамической обработки (ПВДО) на РУП заводе

«Могилевлифтмаш». Данные испытаний приведены в табл. 1.

Расчетную схему для определения износа направляющих скольжения можно представить в следующем виде (рис. 3).

Табл. 1. Результаты обследования станков после капитального ремонта с ПВДО

Модель станка	16А20Ф3		16К20Ф3		16А20Ф3	
Дата проведения ремонта	Июль 2004		Май 2005		Май 2005	
Характер обрабатываемых деталей	Чугун-сталь 2-сменный режим		Сталь 2-сменный режим		Сталь 2-сменный режим	
	Дата обследования					
	15.09.05.	20.03.06.	15.09.05.	20.03.06.	15.09.05	20.03.06
Износ направляющих в рабочей зоне, мм						
Плоская направляющая	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Призматическая < 45°	0,03	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
Призматическая < 35°	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Износ направляющих в нерабочей зоне, мм						
Плоская направляющая	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Призматическая < 45°	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Призматическая < 35°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

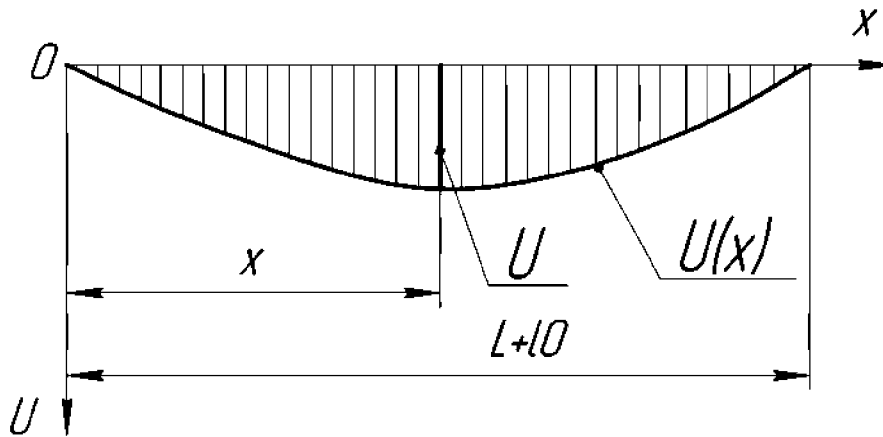


Рис. 3. Схема для определения износа направляющих скольжения

Линейный износ U и скорость изнашивания материалов γ для данной схемы определяются из уравнений [2]:

$$U = k \cdot p^m \cdot v \cdot t, \quad (1)$$

$$\gamma = U/t = k \cdot p^m \cdot v, \quad (2)$$

где k – коэффициент износа; p – давление на поверхность трения, Па; v – скорость относительного скольжения, м/с; t – время работы сопряжения; m – коэффициент, $m = 1$ для абразивного и усталостного видов изнашивания.

При расчетах были приняты следующие обозначения: $U(x)$ – искомая величина линейного износа направ-

ляющих станины на длине x при $0 \leq x \leq (L + l_0)$; L – максимальный ход стола; l_0 – длина направляющих стола.

Общей формулой для различных случаев износа является [2]

$$U(x) = ks \int_{l_1}^{l_2} \varphi(x-l) f(l) dl. \quad (3)$$

Пределы интегрирования определяются в зависимости от того, какой участок эпюры давлений воздействует на заданную точку станины с координатой x .

В формуле (3) учтено влияние основных факторов на форму изношенной поверхности направляющих: k отражает

износостойкость материалов и условие изнашивания, s – интенсивность изнашивания станка во времени, т. к. $s = v \cdot t$, $f(l)$ – конструкцию суппорта, расположение сил и величину их действия; $\varphi(x)$ характеризует технологические процессы, осуществляемые на станке. Следовательно, при рассмотрении каждого конкретного случая можно подобрать наиболее эффективные пути для уменьшения износа поверхности.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение, что нет необходимости при ремонте направляющих станин обрабатывать всю длину направляющей.

Выполним расчет технико-экономической эффективности способа обработки направляющих станин станков, который состоит из механической обработки и последующей упрочняю-

щей ПВДО, проводимой на участке, длина которого определяется началом и концом износа направляющих перед восстановлением их геометрической точности.

Проведем сравнительный анализ трех технологий обработки направляющих станин станков:

– шлифование с последующим шабрением (традиционная технология) [5];

– лезвийная обработка (фрезерование эльборовый фрезой) с последующей ПВДО [1];

– лезвийная обработка (фрезерование эльборовый фрезой) с дальнейшей ПВДО на участке с наибольшим износом.

Данные о трудоемкости обработки направляющих станин токарно-винторезного станка мод. 16К20 приведены в табл. 2...4 [1].

Табл. 2. Трудоемкость обработки направляющих станин токарно-винторезного станка мод. 16К20 по традиционной технологии

Содержание приемов	Трудоемкость, ч
1 Установка и выверка станины	2,5
2 Наладка инструмента	0,5
3 Шлифование	24
4 Подшабривание направляющих	9
Итого:	36

Табл. 3. Трудоемкость обработки направляющих станин токарно-винторезного станка мод. 16К20 по технологии: лезвийная обработка (фрезерование эльборовый фрезой) и ПВДО

Содержание приемов	Трудоемкость, ч
1 Установка и выверка станины	2,5
2 Установка и наладка фрезерной головки	1
3 Фрезерование направляющих	7
4 Снятие фрезерной головки и установка устройства для ПВДО	1,5
5 ПВДО направляющих	1
Итого:	13

Табл. 4. Трудоемкость обработки направляющих станин токарно-винторезного станка мод. 16К20 по третьей технологии: лезвийная обработка (фрезерование эльборовый фрезой) и ПВДО на участке с наибольшим износом

Содержание приемов	Трудоемкость, ч
1 Установка и выверка станины	2,5
2 Установка и наладка фрезерной головки	1
3 Фрезерование направляющих	7
4 Снятие фрезерной головки и установка устройства для ПВДО	1,5
5 ПВДО направляющих	0,4
Итого:	12,4

Суммарная трудоемкость лезвийной обработки (фрезерование эльборовый фрезой) и ПВДО станка мод. 16К20 составляла 8 ч. Однако с учетом того, что по новому способу ПВДО производится не по всей длине направляющей, а только на участке, подвергаемом наибольшему износу, суммарная трудоемкость обработки уменьшится ориентировочно до 7,4 ч.

Предельно допустимый износ направляющих токарных станков (для участка с наибольшим износом) в зависимости от предельного отклонения диаметрального размера обтачиваемой поверхности Δd , мкм, и длины обтачивания L , мм, определяется по формуле [3]

$$U_{\max} = 320 \cdot \frac{\Delta d}{L} = 320 \cdot \frac{160}{300} = 170 \text{ мкм. (4)}$$

Значение Δd учитывает износ направляющих и не учитывает влияние на точность обработки, жесткости узлов, износа инструмента. По формуле видно, что допустимый износ направляющих непосредственно связан с требуемой точностью обработки и размерами обрабатываемой детали. При больших допусках на диаметр и коротких изделиях допустимый износ может быть весьма значительным. Но с точки зрения виброустойчивости суппорта не рекомендуется допускать значения износа более 0,2 мм [3].

Ранее совместно с ИМИНМАШ НАН РБ были проведены исследования на износ на нетермообработанных

чугунных (СЧ 20 ГОСТ 1412-85 с твердостью НВ 170...229) направляющих станин токарно-винторезных станков мод. 16А20. На станках производилась черновая обработка деталей из чугуна при полной загрузке в две смены. За год эксплуатации выработка станины в местах перемещения каретки составила:

– для направляющих, ремонт которых производился по технологии с использованием операции ПВДО, 0,01...0,03 мм на отрезке в 300 мм;

– для направляющих, ремонт которых производился по заводской технологии (шлифование + шабрение), 0,05...0,07 мм на отрезке в 300 мм.

Учитывая характер протекания износа направляющих и величину предельно допустимого износа для данной модели станка, определим срок службы станка до капитального ремонта. Так, для станков, направляющие которых отремонтированы по традиционной технологии, срок службы составит 2 года и 5 месяцев, а по технологии с применением операции ПВДО – 5 лет и 7 месяцев. Таким образом, при использовании технологии ремонта направляющих с помощью лезвийной обработки (фрезерование эльборовый фрезой) и операции ПВДО возможно повысить срок службы станка минимум в 2,3 раза.

Для оценки способа ремонта направляющих станин станков с применением операции ПВДО на участке с мак-

симальным износом необходимо провести анализ затрат и экономии по следующим направлениям:

1) экономия расходов на ремонт направляющих станин в связи со снижением трудоемкости за счет внедрения нового способа обработки;

2) капитальные затраты, необходимые для внедрения нового способа и на срок его окупаемости.

Было установлено, что на ОАО «Могилевхимволокно» на ремонтно-механическом заводе из 15 капитальных ремонтов токарно-винторезных станков 12 приходится на станки, станины которых утратили закаленный слой. С учетом того, что средняя сметная стоимость капремонта токарно-винторезного станка составляет 23 333 950 р., затраты Z_1 на капремонт в год составят:

$$Z_1 = 12 \cdot 23\,333\,950 = 280\,007\,400 \text{ р.}$$

Так как технология ремонта направляющих, состоящая из лезвийной обработки с последующей ПВДО, позволяет повысить срок службы станка минимум в 2,3 раза, то и количество капремонтов в

год, а следовательно, и затраты на них уменьшатся в 2,3 раза.

Затраты Z_2 на капремонт в год по новому способу

$$Z_2 = \frac{Z_1}{2,3} = \frac{280007400}{2,3} = 121\,742\,348 \text{ р.}$$

Экономия расходов на ремонт в год за счет внедрения нового способа

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= Z_1 - Z_2 = 280\,007\,400 - 121\,742\,348 = \\ &= 158\,265\,052 \text{ р.} \end{aligned}$$

Срок окупаемости капитальных затрат, необходимых для внедрения новой технологии, определяется по формуле

$$T = \frac{K}{\mathcal{E}}, \quad (5)$$

где K – капитальные затраты на внедрение новой технологии ремонта (итог табл. 5).

$$T = \frac{92585000}{158265052} = 0,585 \text{ года}$$

или 7 месяцев.

Табл. 5. Капитальные затраты при обработке по новому способу

Наименование капитальных затрат	Сумма, р.
Изготовление накатника, корпуса однозубой фрезы и поворотного устройства к резцедержателю станка при обработке призматических направляющих станины	17 585 000
Стоимость научно-технической продукции	75 000 000
Итого	92 585 000

Приведенные расчеты позволяют оценить экономическую эффективность этого способа за счет снижения трудоемкости ремонта. Однако необходимо учитывать и косвенный эффект, т. к. снижается простой оборудования из-за ремонта, что позволяет предприятию выпустить дополнительный объем промышленной продукции, т. е. повысить производительность труда при том же составе рабочих и парка оборудования в ремонтном производстве. Дополнительный выпуск

продукции приведет к увеличению прибыли, а следовательно, и к повышению рентабельности предприятия.

Одним из важных вопросов также является экономия расходов на электроэнергию, затрачиваемую на ремонт направляющих станин. С учетом того, что мощность электродвигателя подачи стола продольно-строгального станка составляет 71 кВт, а стоимость 1 кВт·ч 0,17 у. е., экономия расходов на электроэнергию, затрачиваемую на ремонт

одной направляющей по новому способу, составит около 200 у. е.

Стоимость электроэнергии, затрачиваемой на ремонт одной станины с применением шлифования (традиционная технология):

$$(71 \cdot 0,17) \cdot 24 = 289,68 \text{ у. е.}$$

Стоимость электроэнергии, затрачиваемой на ремонт одной станины с применением лезвийной обработки (фрезерование эльборовой фрезой) и ИУ ПВДО (вторая технология):

$$(71 \cdot 0,17) \cdot 8 = 96,56 \text{ у. е.}$$

Стоимость электроэнергии, затрачиваемой на ремонт одной станины с применением лезвийной обработки (фрезерование эльборовой фрезой) и ПВДО на участке с наибольшим износом:

$$(71 \cdot 0,17) \cdot 7,4 = 89,32 \text{ у. е.}$$

Выводы

1. Способ ремонта направляющих станин станков, включающий лезвийную обработку (фрезерование эльборовой фрезой) с дальнейшей ПВДО на участке, определяемом началом и концом износа, снижает трудоемкость обработки по сравнению с традиционным способом (шлифование с последующим шабрением) в 3 раза.

2. Срок окупаемости капитальных затрат, необходимых для внедрения новой технологии ремонта направляющих станин при ремонте 12 станков в год, составит около 7 месяцев.

3. Ожидаемая экономия расходов на ремонт в год за счет внедрения нового способа составит более 158 млн р.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камчицкая, И. Д. Упрочняющая технология восстановления направляющих станин станков на основе лезвийной и пневмовибродинамической обработки : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 : защищена 22.12.06 : утв. 28.02.07 / Камчицкая Ирина Дмитриевна. – М., 2006. – 129 с.
2. Проников, А. С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем : в 3 т. / А. С. Проников. – М. : Машиностроение, 1994.
3. Проников, А. С. Расчет и конструирование металлорежущих станков / А. С. Проников. – М. : Высш. шк., 1968. – 431 с.
4. Симонова, Ю. Э. Повышение эксплуатационных свойств направляющих скольжения напылением слоя переменного химического состава / Ю. Э. Симонова, Ю. С. Ткаченко // Справ. Инженерный журнал. – 2010. – № 8. – С. 39–42.
5. Справочник механика машиностроительного завода : в 2 т. Т. 2. Технология ремонта / Под ред. Ю. С. Борисова. – М. : Машиностроение, 1971. – 566 с.

Статья сдана в редакцию 29 апреля 2013 года

Анатолий Петрович Минаков, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-24-18-15.

Ирина Дмитриевна Камчицкая, канд. техн. наук, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет.

Елена Валерьевна Илюшина, канд. техн. наук, зам. декана, Белорусско-Российский университет.

Надежда Михайловна Юшкевич, преподаватель, Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-26-48-52.

Anatoly Petrovich Minakov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-24-18-15.

Irina Dmitriyevna Kamchitskaya, PhD (Engineering), senior lecturer, Belarusian-Russian University.

Yelena Valeryevna Ilyushina, PhD (Engineering), Deputy Dean, Belarusian-Russian University.

Nadezhda Mikhailovna Yushkevich, lecturer, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-26-48-52.