

УДК 621.75

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

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПРАВЛЯЮЩИХ СТАНИН МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

UDC 621.75

A. P. Minakov, N. M. Yushkevich, I. D. Kamchitskaya, Y. V. Ilyushina, D. L. Zaitsev

ANALYSIS OF METHODS TO IMPROVE WEAR RESISTANCE OF BEDWAYS OF MACHINE TOOLS

Аннотация

Приведен анализ и рассмотрены преимущества и недостатки способов повышения износостойкости направляющих станин металлорежущих станков. Обобщен положительный опыт использования упрочняющей импульсно-ударной пневмовибродинамической обработки (ПВДО) в качестве окончательной операции при ремонте направляющих станин станков.

Ключевые слова:

упрочнение поверхности, импульсно-ударная пневмовибродинамическая обработка плоских поверхностей, шероховатость, наклеп, износ направляющих, технология ремонта.

Abstract

The paper analyses the methods to improve wear resistance of bedways of metal cutting machines and presents their advantages and disadvantages. It summarizes the positive experience of using strengthening pulse-impact pneumo-vibro-dynamic treatment (PVDT) as the final stage in the repair of the machine-tool bedways.

Key words:

surface hardening, pulse-impact pneumo-vibro-dynamic treatment of flat surfaces, roughness, cold hardening, bedways wear, repair technology

Затраты на ремонт и техническое обслуживание металлорежущих станков в 8 раз превышают их стоимость [2]. Поэтому проблема обеспечения надежности и долговечности станков при их изготовлении и ремонте сегодня носит актуальный характер. Одно из направлений ее решения напрямую связано с повышением износостойкости направляющих станин.

Износ направляющих обусловлен их неполной защитой от попадания стружки, песка и абразива и малыми скоростями перемещений, которые не позволяют обеспечить образование масляных клиньев. Направляющие главного движения в основном выходят из

строения из-за заеданий [5].

В металлорежущих станках применяют два основных типа направляющих: скольжения и качения.

Направляющие скольжения классифицируются по различным режимам трения, а именно граничным, гидродинамическим, аэростатическим, гидростатическим, смешанным. Наибольшее распространение получили направляющие со смешанным режимом трения. Их преимущество заключается в том, что они обладают большой нагрузочной возможностью, жесткостью и способностью демпфировать. К отрицательным сторонам относится сильное трение, которое ограничивает перемещение узлов

и механизмов, что ведет к быстрому износу направляющих.

Направляющие качения различаются типом тел качения (ролики или шарики), конструктивными формами, видами кинематики. Они обладают малым трением, обеспечивают высокую плавность перемещений, допускают высокие скорости и ускорения перемещений. Их основными недостатками являются относительно низкое демпфирование, повышенная чувствительность к загрязнению, а также высокая стоимость.

Возможны случаи применения комбинированных направляющих, у которых по одним граням используется скольжение, по другим – качение.

Направляющие станков выполняют преимущественно заодно с литой станиной из чугуна различных марок: серый чугун – СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ21, СЧ24, СЧ35; высокопрочный чугун – ВЧ45-5.

Стальные сварные станины применяют при относительно простых формах, в индивидуальном и мелкосерийном производстве, а также при больших (особенно ударных) нагрузках. Необходимую износостойкость сварных станин можно обеспечить с помощью

накладных направляющих. Обычно их изготавливают из стали с упрочнением до высокой твердости (59 HRC), что повышает их износостойкость [1].

На рис. 1 показаны направляющие токарно-винторезного станка модели 1К62, где поверхности 4...6, по которым перемещается задняя бабка, значительно меньше изнашиваются, чем поверхности 1...3, 7 и 8. Согласно исследованиям [6, 11], при износе поверхностей 4, 5 и 6 на 0,03 мм поверхность 8 оказалась изношенной на 0,10 мм, поверхность 7 – на 0,08 мм, поверхность 1 – на 0,05 мм, поверхность 3 – на 0,25 мм и поверхность 2 – на 0,35 мм. Вследствие такого большого износа при ремонте приходится углублять канавки 10, а поверхности 9, 11 и 12 использовать как базовые. Выявлено, что направляющие 2, 3, 7 для перемещения каретки суппорта более нагружены, чем направляющие для перемещения задней бабки. Однако скорости изнашивания направляющих зависят также и от характера выполняемых работ – в патроне или в центрах. В последнем случае изнашиваются более интенсивно и направляющие перемещения задней бабки.

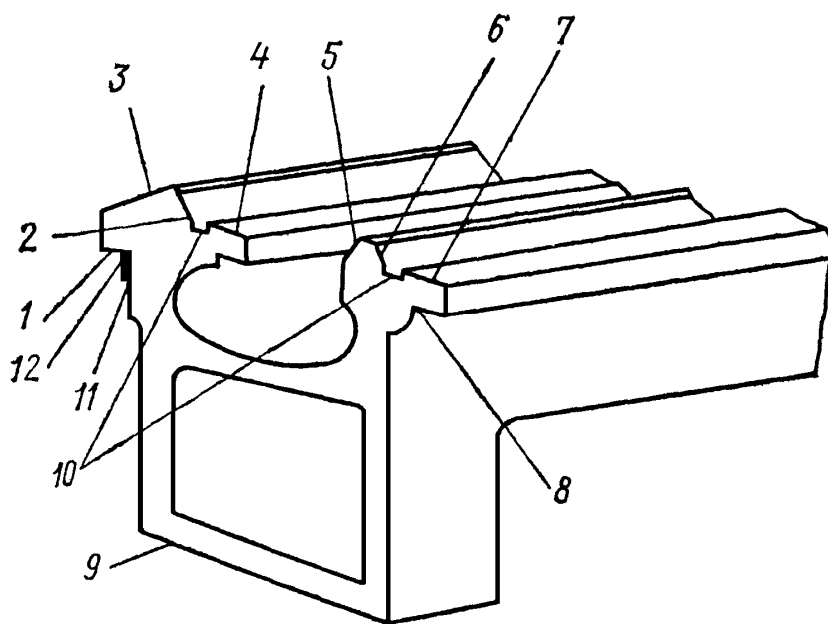


Рис. 1. Направляющие станины токарно-винторезного станка мод. 1К62

В соответствии с ГОСТ 18097-93 при ремонте станин токарных станков допускается непрямолинейность (в сторону выпуклости) не более 0,02 мм на длине 1000 мм.

Износ направляющих – постоянное явление, которое можно замедлить, но невозможно предотвратить.

Основными видами износа направляющих скользящего типа являются абразивное, адгезионное и усталостное изнашивание.

Абразивное изнашивание возникает в условиях трения, когда твердые частицы, находящиеся в свободном или закреплённом состоянии, режут или царапают поверхность. Наблюдается при загрязнении направляющих и смазочного материала твердыми частицами. Такой износ устраняется за счет повышения уровня технического обслуживания оборудования.

Адгезионное изнашивание возникает в условиях трения, когда два тела скользят друг по другу и частицы материала, вырванные с одной поверхности, прилипают к другой. Этот вид износа имеет место, когда атомы контактирующих поверхностей входят в близкий контакт. Адгезионные взаимодействия вызывают появление заедания, возникновение холодной сварки, повышение интенсивности изнашивания и увеличение сил трения.

Усталостное изнашивание – механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при многократном скольжении по одним и тем же поверхностям с непрерывно повторяющимися циклами нагружения. Данный вид износа включает в себя группу видов изнашивания, для которых характерны усталостные разрушения из-за повторного механического взаимодействия неровностей, изнашивание при хрупком разрушении наклепанного слоя, разрушение пленок окислов и т. д.

Износ направляющих приводит к непрямолинейному перемещению режущего инструмента в горизонтальной

плоскости, а следовательно, и к образованию погрешностей формы на обработанных поверхностях. Эксплуатационные характеристики станка зависят от его конструкции, жесткости, точности изготовления, формы и размеров направляющих, материала, из которого они изготовлены и т. д. Существенное повышение долговечности направляющих может быть достигнуто их термообработкой, установкой пластин, механическим наклепыванием или поверхностным упрочнением путем накатывания.

Ремонт направляющих станин станков начинают с удаления следов износа и восстановления их геометрической точности. После этого в зависимости от величины износа они подвергаются строганию, фрезерованию, шлифованию, шабрению и притирке.

Строгание и фрезерование поверхности направляющих производят для устранения выработки. Как правило, после этих операций необходимо последующее шлифование или шабрение поверхности. Строгание осуществляется за два-три предварительных прохода и один окончательный при скорости движения стола 8...10 м/мин и глубине резания 0,03...0,05 мм [11]. Шероховатость поверхности при указанных режимах резания получается в пределах $Ra = 0,8...1,6$ мкм.

Чистовое фрезерование производится фрезой с одной широколезвийной пластинкой из твердого сплава – для стальных направляющих и из минералокерамики – для чугунных. Глубина резания при чистовом фрезеровании 0,1...0,2 мм. Шероховатость обработанной поверхности составляет $Ra = 1,6$ мкм [11].

Шлифование – наиболее производительный процесс, позволяющий получать поверхность высокой точности и низкой шероховатости ($Ra = 0,08...0,32$ мкм), однако качество поверхностного слоя при сухом шлифовании ухудшается вследствие образования больших внутренних напряжений, прижогов, микротрещин и шаржирования поверхности зёрнами аб-

разива. Режимы шлифования: подача 6...8 м/мин, скорость 35...40 м/с [11, 12]. Для предотвращения нагрева обрабатываемой поверхности во время шлифования необходимо использование СОЖ.

Шабрение – достаточно трудоемкий и малопроизводительный процесс обработки, характерный для ремонта незакаленных направляющих станин. Его применяют при износе менее 0,1 мм. Шабрение осуществляется по контрольным плитам, линейкам и специальным приспособлениям. Припуск на шабрение необходимо оставлять минимальным ввиду трудоемкости процесса (например, шабрение станины токарного станка длиной 1500 мм занимает 9 ч).

Притирка применяется как отделочная операция для станин повышенной точности. Во время операции притирки на смазанную поверхность направляющих накладывается сопрягаемая деталь или контрольная плита, на которую кладут груз (200...300 кг) и задают возвратно-поступательное движение со скоростью до 7 м/мин. Время операции притирки составляет от 15 мин до нескольких часов в зависимости от качества поверхности направляющих и размеров станины. Шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0,02...0,10$ мкм.

После восстановления геометрической точности проводят упрочнение направляющих *термической обработкой*, выполнив предварительно отжиг.

Поверхностная закалка с индукционным нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) позволяет получать твердость чугуна в зависимости от состава 48...53 HRC при температуре 830...950 °С. Износ направляющих станин после закалки уменьшается в 2...3 раза и составляет за один межремонтный период (5...9 мес.) в среднем 0,02 мм, за два (10...18 мес.) – 0,03 мм [11]. К недостаткам закалки ТВЧ относят низкий КПД нагрева и излишнюю глубину нагрева, которая приводит к короблению металла.

При газопламенной закалке поверхность нагревается газовыми горелками, сжигающими смесь кислорода с ацетиленом, а затем охлаждается тонкими струями воды. Закалка направляющих станин производится при помощи специальной установки, обеспечивающей равномерное механизированное перемещение горелок. Станина погружается почти до плоскости направляющих в бак с циркулирующей водой для поддержания ее постоянной температуры. Это предохраняет станину от коробления. Скорость перемещения каретки с горелками устанавливается в зависимости от желаемой глубины закаленного слоя. Так, например, при одном проходе пламени со скоростью 100...150 мм/мин глубина закалки получается 3...5 мм. Твердость закаленной поверхности достигает 48...53 HRC. Процесс газопламенной закалки не требует дорогостоящего оборудования и высокой квалификации рабочих, однако используемый технический ацетилен имеет резкий неприятный запах.

При лазерной закалке направляющих может быть получена равномерная глубина термообработанного слоя до 1...2 мм, а его твердость может достигать 60...62 HRC. Лазерный луч быстро нагревает тонкий поверхностный слой металла, который также быстро остывает по мере перемещения луча на другие участки. Охлаждение водой не требуется, отсутствует коррозия станины и направляющих, а температурные деформации станины при закалке лазером меньше, чем при ТВЧ. Однако процесс очень энергоемкий и дорогой.

Повышения износостойкости направляющих можно достигнуть *электро-химико-механическими способами обработки*.

При электроискровой обработке происходит перенос металла с инструмента (анода) на поверхность детали (катод). Однако из-за низкой производительности и высокой трудоемкости этот процесс применяется редко.

Электромеханическая обработка направляющих основана на сочетании термического и силового воздействия на поверхностный слой детали и выполняется вращающимся твердосплавным роликом, закрепленным в пружинной державке. В процессе обработки через место контакта инструмента с деталью проходит ток силой до 2000 А, напряжением 2...6 В, вследствие чего выступающие гребешки поверхности нагреваются и под давлением инструмента деформируются и сглаживаются, а поверхностный слой металла упрочняется. Электромеханическая обработка дает возможность получить закаленную структуру поверхностного слоя. Твердость упрочненного слоя повышается до 589 НВ, шероховатость составляет $R_a = 1,6$ мкм, глубина упрочненного слоя – 0,56 мм [13].

Химико-механическая обработка предусматривает обработку поверхности специальным химическим раствором, в результате которой на поверхности образуется твердая кристаллическая

фосфатная плёнка толщиной до 0,4 мм. Эта плёнка выполняет роль разделительного слоя между поверхностями трения, способствуя повышению их износостойкости и снижению схватывания. Однако данный процесс не является экологически чистым.

Износостойкость чугунных направляющих может быть повышена пористым хромированием, использование которого является наиболее целесообразным для направляющих прецизионных станков из-за малой глубины упрочняемого слоя (0,025...0,050 мм). После хромирования поверхность хорошо удерживает масло в порах, однако требуется последующая притирка чугуном притиром. Основным недостатком хромирования является хрупкость упрочнённого слоя.

Интерес представляет процесс твердого хромирования с последующим нанесением на упрочненной поверхности маслоудерживающей сетки (рис. 2) для повышения износостойкости направляющих станин станков.



Рис. 2. Поверхность направляющих станин с твердым хромированием с последующим нанесением на упрочненной поверхности маслоудерживающей сетки

В последнее время одним из перспективных методов восстановления изношенных направляющих является при-

менение полимерных покрытий немецкой фирмы «Диамант металлпластик GMBH» (Diamant metallplastik GMBH) [4]. По-

верхность ремонтируемых направляющих обрабатывается разделительным составом и зачищается шлифовальным кругом для того, чтобы она приобрела необходимую шероховатость, обеспечивающую лучшую схватываемость с композитным материалом. Далее эта поверхность обрабатывается обезжиривателем. Затем на нее наносится смешанный из нескольких компонентов полимерный материал. На выставочные винты либо специальные планки, обеспечивающие необходимый зазор, устанавливается оборудование (суппорт, задняя бабка). По истечении 24 ч оборудование сдвигается в продольном направлении и переворачивается для удаления излишков выдавленного и застывшего материала. Формирование направляющих выполняется, когда композит находится в пластичном состоянии. Помимо этого, композитные полимерные материалы обеспечивают стойкость к химическим и физическим воздействиям, обрабатываются как металл, обеспечивают получение точных сопряжений, не дают усадки и имеют длительный срок выработки, позволяющий производить сложные операции по монтажу конструкций до момента начала полимеризации материала.

С целью повышения износостойкости направляющих станин станков применяется *поверхностно-пластическое деформирование материала*.

Обкатка шариками (роликами) плоских поверхностей обеспечивает поверхностное деформирование (смятие) микронеровностей, упрочнение поверхностного слоя детали и приводит к снижению шероховатости обрабатываемой поверхности ($Ra = 0,1...2,0$ мкм) [9]. Обкатка производится на продольно-строгальном станке после чистового строгания.

Отрицательными факторами, ограничивающими использование обкатки шариками (роликами) направляющих, являются перенаклеп поверхностных слоев, получение слишком гладкой по-

верхности, не способной удерживать масло, неравномерное протекание в некоторых случаях пластического деформирования, связанное с неправильной настройкой инструмента [6].

Вибрационное накатывание и вибрационное выглаживание с образованием тонкого пластически деформированного упрочненного слоя направляющих станин применяют с целью создания регулярных микрорельефов сферического профиля. При вибронакатывании, помимо осевой подачи (как и при выглаживании), инструменту, поджатому к обрабатываемой поверхности с некоторой силой, сообщается возвратно-поступательное перемещение вдоль детали. Вибронакатывание стальным закаленным шаром применяют при обработке плоской поверхности с твердостью до 40 HRC. Вибровыглаживанием с использованием сферического наконечника из алмаза или другого сверхтвердого материала можно обрабатывать поверхности высокой твердости до 50...60 HRC [8].

При вибрационном накатывании происходит создание системы канавок, которая способствует увеличению маслостойкости поверхности [3]. Износостойкость направляющих станин станков, обработанных, например, способом вибронакатывания, в 1,6 раз выше по сравнению с шабреными направляющими.

Однако, наряду с достоинствами, процесс вибронакатывания имеет и существенные недостатки: процесс является малопродуктивным и не обеспечивает упрочнения всей обрабатываемой поверхности (площадь канавок составляет лишь около 40 %); созданная система канавок, кроме масла, удерживает твердые частицы, вызывающие абразивный износ.

Следует также отметить, что изготовление специальных шаров из определенного материала с заданной точностью для вибрационного накатывания чрезвычайно затруднено, а изготовле-

ние сферических наконечников из любого материала несложно. Поэтому вибровыглаживание является методом, имеющим более широкие технологические возможности по сравнению с вибронакатыванием, но во многих случаях уступает ему по производительности.

Для упрочнения поверхности направляющих используют статико-импульсную обработку (СИО) [7]. Ее особенностью является комбинированное статическое и динамическое нагружение очага деформации. Основное деформационное воздействие происходит за счет динамической составляющей нагрузки, которая формируется в ударной системе и сообщается в очаг деформации в виде импульса. Предварительное статическое поджатие инструмента к обрабатываемой поверхности позволяет полнее использовать энергию ударного импульса. За счет ударных систем с промежуточным звеном появилась возможность резко увеличить количество энергии, сообщаемой в очаг деформации в процессе СИО, что позволило в несколько раз увеличить глубину упрочненного слоя. При СИО в очаге деформации формируются пролонгированные (продленные) импульсы, энергия которых в 2...3 раза выше по сравнению с импульсами, возникающими при других способах динамического упрочнения ППД. При обработке инструментом с локализованным контактом удается максимально пролонгировать действие контактной нагрузки, обеспечить более полную реализацию энергии импульса на осуществление упругопластической деформации.

Технология упрочнения СИО включает следующие этапы: предварительное статическое и последующее периодическое импульсное нагружения инструмента. СИО осуществляется при помощи специально разработанного высокочастотного генератора механических импульсов, позволяющего регулировать энергию и частоту импульсов в широком диапазоне.

Преимуществами СИО перед другими способами ППД являются высокий коэффициент передачи энергии упрочняемой поверхности, возможность воздействия на упрочняемую поверхность управляемым импульсом, компактность устройства для упрочнения, возможность установки его на металлообрабатывающее оборудование. Однако при таком способе обработки возможен перенос поверхности заготовки, что может иметь негативные последствия в процессе эксплуатации.

Новым процессом для упрочнения плоских поверхностей является импульсно-ударная пневмовибродинамическая обработка (ПВДО). Она предназначена для финишной безабразивной обработки направляющих станин металлорежущих станков с целью повышения их износостойкости в 1,5...2,0 раза по сравнению со шлифованными поверхностями [6].

Сущность ПВДО заключается в разнонаправленном многократном импульсно-ударном воздействии деформирующих шаров, получающих ударные импульсы от приводящих шаров, на исходный микрорельеф обрабатываемой поверхности. Источником энергии для приводящих шаров является сжатый воздух, который направляется тангенциально расположенными по окружности соплами при его адиабатическом истечении. Благодаря турбулентному кольцевому потоку сжатого воздуха все шары интенсивно охлаждаются, что обуславливает их значительную стойкость.

Использование ПВДО для ремонта направляющих токарного станка имеет следующие преимущества:

- снижение трудоемкости обработки направляющих в 5...6 раз по сравнению с применявшимся ранее шлифованием без охлаждения и в 2...3 раза по сравнению со шлифованием с использованием охлаждения;
- отсутствие прижогов и шаржирования обрабатываемой поверхности абразивными микрочастицами;

- отсутствие задигов во время приработки поверхностей пары трения;
- отсутствие микротрещин, являющихся очагами разрушения поверхности и коррозии и присутствующих на поверхности после традиционных способов обработки резанием;
- уменьшение коэффициента трения между контактирующими поверхностями на 20 %;
- наличие деформационно упрочненного слоя на глубину до 0,1 мм с твердостью на поверхности до 42 HRC в результате ударного воздействия стальных шаров;

- повышение маслосъемности поверхности на 30 % за счет создания на ней сетки микролунок, являющихся одновременно микроподшипниками (при наличии жидкой смазки) и ловушками, ограничивающими миграцию продуктов износа и их разрушительное действие (рис. 3).

Инструмент для импульсно-ударной ПВДО направляющих станин станков представлен на рис. 4.



Рис. 3. Поверхность, обработанная упрочняющей импульсно-ударной ПВДО

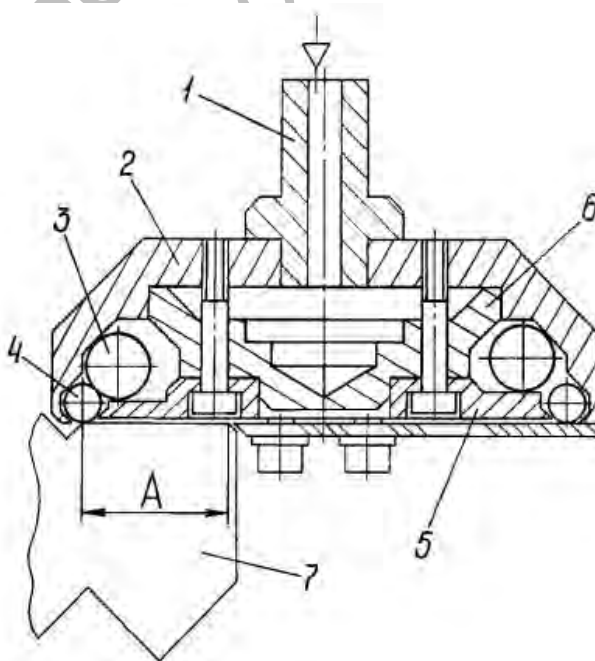


Рис. 4. Конструкционная схема инструмента для ПВДО: 1 – полый вал; 2 – корпус; 3 – приводящие шары; 4 – деформирующие шары; 5 – диск; 6 – стакан; 7 – заготовка

Инструмент состоит из оправки 1 с корпусом 2, в котором расположены приводящие 3 и деформирующие 4 шары. Оба кольцеобразных ряда шаров зафиксированы в камере посредством диска 5 и стакана 6. В стакане 6 выполнены сопла (не показаны), предназначенные для направления струй сжатого воздуха на приводящие шары 3. Шары имеют многоосное вращение относительно собственного центра масс и перемещение в турбулентном кольцевом потоке сжатого воздуха. Разнонаправленное силовое воздействие шаров на исходный микрорельеф способствует созданию благоприятных пластических сдвигов слоев металла и его деформации.

онному упрочнению. Пластическое деформирование поверхности происходит за счет нанесения ударов приводящими шарами 3 по деформирующим 4 в зоне обработки, а теми, в свою очередь, – по заготовке. Анализ работы представленного инструмента показал необходимость совершенствования его конструкции с целью снижения уровня шума и увеличения силы удара шаров по обрабатываемой поверхности.

Усовершенствованная конструктивная схема инструмента для ПВДО плоских поверхностей с учетом описанных недостатков представлена на рис. 5 [10].

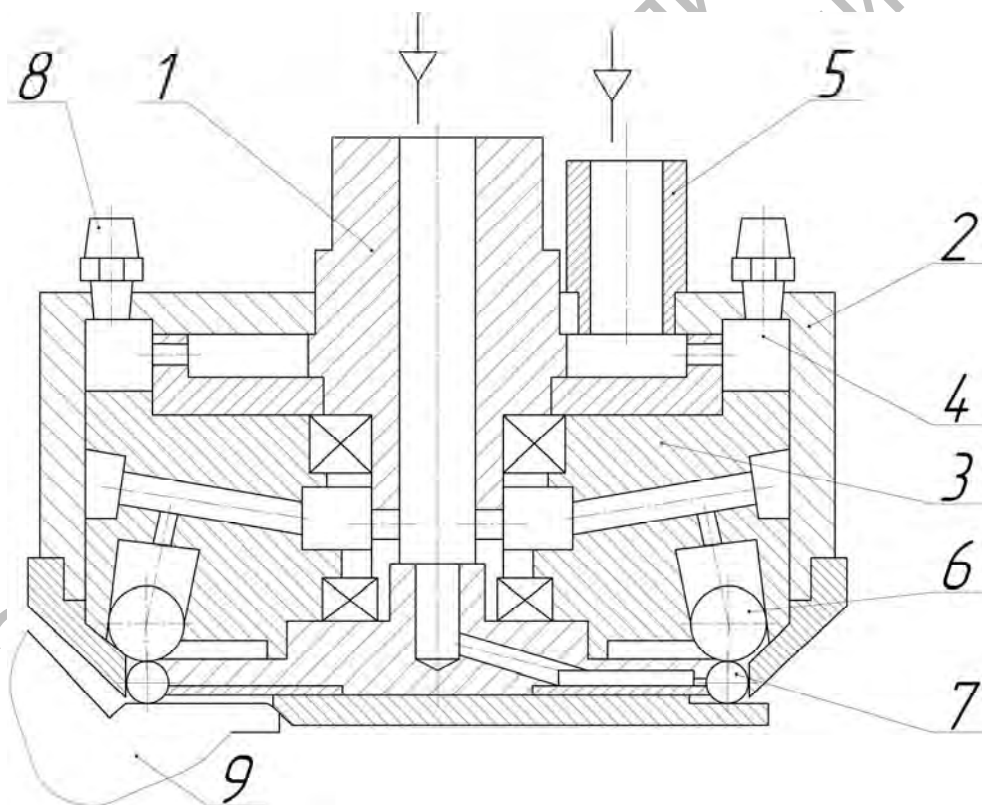


Рис. 5. Усовершенствованная конструкция инструмента: 1 – полый вал; 2 – корпус; 3 – диск; 4 – лопатки; 5 – штуцер; 6 – приводящие шары; 7 – деформирующие шары; 8 – пневмоглушители; 9 – заготовка

В отличие от предыдущей модели перемещение приводящих шаров 6 осуществляется совместно с диском 3, в котором для них выполнены локальные гнезда. Под действием сжатого воздуха, подводимого от системы питания через

штуцер 5 и сопла на лопатки 4 инструмента, диск 3 вместе с приводящими шарами 6, размещенными в его гнездах, начинает вращаться вокруг оси полого вала 1. При этом приводящие шары 6 под действием центробежной силы

наносят удары по деформирующим шарам 7, а те, в свою очередь, по обрабатываемой поверхности 9. Вращение диска совместно с приводящими шарами обеспечивает не только их высокую скорость, но и большую силу удара по деформирующим шарам за счет массы диска. В результате происходит пластическое деформирование и упрочнение обработанной поверхности, создается сетка лунок, увеличивающая маслосъемность этой поверхности.

Для регулировки усилия прижатия и охлаждения зоны обработки к приводящим шарам 6 предусмотрена подача сжатого воздуха, подаваемого через осевой канал вала 1. Этот же осевой канал использован и для замедления вращения деформирующих шаров 7, сжатый воздух к которым подается через сопла. Таким образом, можно управлять процессом ПВДО, что значительно упрощает обработку.

Данная конструкция инструмента позволит повысить производительность обработки и увеличить глубину наклепанного слоя. Использование глушителей даст возможность снизить уровень звукового давления до санитарных норм.

Выводы

1. Анализ представленных методов повышения износостойкости ремонтируемых направляющих станин показал, что наиболее приемлемым окончательным способом обработки является поверхностное пластическое деформирование, позволяющее получить упрочненный поверхностный слой с повышенными физико-механическими свойствами и увеличить маслосъемность поверхности без значительных материальных затрат.

2. Наиболее эффективной финишной технологией для обработки направляющих станин станков при их изготовлении и ремонте на предприятиях является ПВДО, которая содержит в себе все преимущества ППД, приводит к снижению износа и повышению срока службы направляющих.

3. Усовершенствованная конструкция инструмента для ПВДО позволит управлять процессом обработки, снизить уровень звукового давления, повысить производительность обработки и увеличить глубину упрочненного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боровик, А. Г.** Металлорежущие станки : учеб.-метод. комплекс / А. Г. Боровик. – Проспект, 2015. – 224 с.
2. **Гаркунов, Д. Н.** Триботехника (износ и безызносность) : учебник / Д. Н. Гаркунов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : МСХА, 2001. – 616 с.
3. **Горохов, В. А.** Улучшение эксплуатационных свойств деталей и инструмента методами вибронакатывания и вибровыглаживания / В. А. Горохов. – М. : НИИмаш, 1983. – 64 с.
4. Восстановление направляющих станков с помощью полимерного материала / В. П. Гришко, Д. А. Воробьев, В. Б. Струтинский, Е. А. Ищенко // Вестн. Приоз. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 2, Вып. 30. – С. 91–97.
5. **Каминская, В. В.** Станины и корпусные детали металлорежущих станков / В. В. Каминская, З. М. Левина, Д. Н. Решетов. – М. : МАШГИЗ., 1960. – 365 с.
6. **Камчицкая, И. Д.** Упрочняющая технология восстановления направляющих станин станков на основе лезвийной и пневмовибродинамической обработки : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / И. Д. Камчицкая. – М., 2006. – 129 л.
7. **Кокорева, О. Г.** Технологические возможности статико-импульсной обработки / О. Г. Кокорева // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 2. – С. 48–50.
8. **Одинцов, Л. Г.** Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
9. **Папшев, Д. Д.** Упрочнение деталей обкаткой шариками / Д. Д. Папшев. – М. : Машиностроение, 1968. – 132 с.

10. Способ обработки поверхностным пластическим деформированием плоской поверхности и инструмент для его осуществления : пат. ВУ 12473 У, МПК⁶ В 24В 39/06 / А. П. Минаков, Д. Л. Зайцев ; заявители и патентообладатели А. П. Минаков, Д. Л. Зайцев. – № а20060866 ; заявл. 29.08.06 ; опубл. 30.04.08. – 4 с.

11. Пекелис, Г. Д. Технология ремонта металлорежущих станков / Г. Д. Пекелис, Б. Т. Гельберг. – М. : Машиностроение, 1984. – 240 с.

12. Стерин, И. С. Слесарь-ремонтник металлорежущих станков / И. С. Стерин. – Л. : Лениздат, 1980. – 288 с.

13. Халимов, Р. Ш. Повышение виброустойчивости суппорной группы токарных станков на основе образования регулярного рельефа поверхности направляющих : дис. ... канд. техн. наук : 23.12.11 / Р. Ш. Халимов. – М., 2011. – 177 л.

Статья сдана в редакцию 25 апреля 2016 года

Анатолий Петрович Минаков, д-р тех. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел. : +375-291-11-91-84.

Надежда Михайловна Юшкевич, преподаватель, Белорусско-Российский университет.

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

Елена Валерьевна Ильюшина, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-298-45-25-55.

Денис Леонидович Зайцев, инженер, РУП «Белнипиэнергопром».

Anatoly Petrovich Minakov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Phone: +375-291-11-91-84.

Nadezhda Mikhailovna Yushkevich, lecturer, Belarusian-Russian University.

Irina Dmitriyevna Kamchitskaya, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.

Yelena Valeryevna Ilyushina, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Phone: +375-298-45-25-55.

Denis Leonidovich Zaitsev, engineer, RUP «Belniপিenergoprom».