

сивность износа при фрезеровании с высокой скоростью резания. Для данных МП характерно снижение интенсивности износа по сравнению с РИ с базовым покрытием TiCN-TiN в 1,56 – 1,65 раза, а по сравнению с однослойным покрытием TiN – в 2,83 – 2,98 раза.

При фрезеровании со скоростью резания  $v = 157$  м/мин и подачей  $SZ = 0,25$  мм/зуб тепловая напряженность процесса резания ниже – меньше максимум контактных температур по сравнению с предыдущим рассмотренным режимом и более равномерно их распределение по длине контакта. В этих условиях наименьшую интенсивность износа по задней поверхности имеют МП общей толщиной 4,5 мкм с соотношением толщин слоев (по отношению к общей толщине МП) – 33 % для TiCN, (33 – 44) % для TiZrN и (33 – 22) % для TiN. Большая эффективность МП толщиной 4,5 мкм на данном режиме резания объясняется иным механизмом разрушения покрытия. При резании на низкой скорости резания интенсивность процессов трещинообразования снижается, и в разрушении покрытия превалируют адгезионно-усталостные процессы, которым лучше сопротивляются более тонкие покрытия. Снижение интенсивности процессов разрушения «тонких» МП способствует и более высокая прочность их сцепления с инструментальной основой по сравнению с МП большой толщины. Интенсивность износа РИ с данными покрытиями ниже по сравнению с базовым двухслойным покрытием в 1,43 раза, а по сравнению с однослойным покрытием TiN – в 2,55 раза.

Подводя итог всему вышесказанному, следует отметить, что наиболее благоприятное сочетание микротвердости и прочности сцепления с инструментальной основой способствует повышению работоспособности режущего инструмента с покрытием.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://5ka.ru>.
2. <http://nitridtitana.ru>.
3. <http://www.plasma.megamir.ru>.
4. <http://www.plasmacentre.ru>

УДК 621.94.084

*Кривко Г.П., Калинин Е.Ю., Лобашевич М.Л., Кулик А.Ю.*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ МЕТОДОМ ППД ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЕЧЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Оценка качества обработки деталей чаще всего производится по шероховатости и волнистости поверхности.

При проведении исследований процесса ППД детали "Борт направляющий" оценка микрогеометрии поверхностного слоя после ППД предполагала измерение шероховатости и волнистости поверхности. Измерение шероховатости поверхностного слоя производилось на приборе "Суртроник-3" с контролем параметра Ra в радиальном направлении детали. Измерение волнистости поверхности осуществлялось на приборе "Талеронд-73".

Дополнительно в данной работе предусматривалось изучение следующих физико-механических свойств поверхностного слоя: микротвердости и микроструктуры, а также плотности и износостойкости.

Измерение микротвердости спеченных порошковых материалов дает усредненное значение микротвердости, так как эти материалы представляют собой во многих случаях многокомпонентную систему. Поэтому для более точной характеристики твердости материала определяется микротвердость его отдельных структурных составляющих. Измерение микротвердости производилось вдавливанием алмазной четырехгранной пирамиды с двухгранным углом при вершине  $136^\circ$  при нагрузках от 0,049 до 4,9 Н в соответствии с ГОСТ 9450-76 на приборе

ПМТ-3. Поверхность образца для измерения микротвердости была подготовлена к испытаниям тем же методом, что и при изготовлении микрошлифов.

Глубина распространения пластической деформации при ППД (глубина наклепа) определялась по результатам измерения микротвердости до ППД и после нее с помощью прямых срезов при различных значениях усилий ППД (Р). Степень упрочнения определялась как прирост микротвердости.

Исследование плотности поверхностного слоя после ППД производилось с помощью металлографического микроскопа ММР-4.

Основной причиной выхода из строя детали "Борт направляющий" из спеченных порошковых материалов является износ трущихся поверхностей борта.

В практике считают более надежными испытания материалов на износ в реальных условиях эксплуатации или на специальных стендах.

Испытания на износостойкость упрочненных ППД деталей "Борт направляющий" предусматривает специальный этап настоящей работы, где запланированы стендовые испытания опытной партии подшипников с упрочненными деталями, полученными при оптимальных режимах ППД.

При обработке таких оптимальных режимов на стадии исследований процесса ППД предусматриваются лабораторные исследования износостойкости упрочненного материала с использованием специальной машины трения, обеспечивающей коэффициент взаимного перекрестия, близкий к нулю при испытании на износ малых (пальчиковых) образцов.

В условиях трения скольжения материалов происходит неравномерный износ поверхностей трения, сопровождающийся интенсивным деформированием поверхностных слоев на значительную глубину. Поэтому микрометрический метод не всегда дает возможность измерить величину линейного износа с необходимой точностью, в особенности при трении небольших (пальчиковых) образцов.

При исследовании интенсивности износа образцов небольших размеров наиболее эффективным методом является определение потерь их массы. Этот метод и был взят за оценку интенсивности износа образцов при трении. Для повышения точности измерений образцы взвешивались на лабораторных аналитических весах марки ВЛА200-2М.

Результаты износа образцов, упрочненных ППД на различных режимах, сравнивались с износом таких же, но не упрочненных образцов.

Общая продолжительность испытания на износ во всех случаях устанавливалась опытным путем, исходя из величины ощутимого износа.

Износ определялся как среднее арифметическое результатов взвешивания трех образцов, закрепленных в державке и одновременно подвергавшихся истиранию. Если данные не совпадали по двум-трем образцам, то испытания проводились повторно. При каждой оценке износа проводилось двух-трех кратное взвешивание. Результат считали удовлетворительным, если при повторном взвешивании отклонение от предыдущего показания не превышало 0,01 мг.

Исследование износостойкости проводилось при постоянной скорости вращения образцов в условиях трения скольжения, равной 1,5 м/с (или 800 об/мин) и при удельном давлении 0,5-1 кгс/мм<sup>2</sup> (5-10 МПа).

В результате таких исследований построены зависимости износа образцов от пути трения, причем для получения каждой точки на графике проводилось три опыта по трем образцам. По этим данным определено среднее значение износа за определенный путь трения, а затем сравнительная (относительная) износостойкость по отношению к принятому эталону.

Для решения поставленных задач были отобраны две партии деталей «Борт направляющий» подшипника 53614К после предварительной обработки их методом точения и полученных методом шлифования. Две партии деталей (по 100 штук каждая) были аттестованы по основным контролируемым параметрам (толщина кольца на расчетном диаметре 10,58 мм и непараллельность противоположных конических сторон) с соответствующим оформлением протоколов замеров. Измерения деталей осуществлялось по мере схода деталей со станка. Конические поверхности контрольных партий колец были аттестованы на шероховатость с замерами параметра Ra на приборе «Сутроник – 3».

На расчетном диаметре конической поверхности была замерена некруглость с использованием прибора «Талеронд-73» (с фильтром 500). При выборочной с пяти деталей (из каждой партии в 50 штук) были записаны круглограммы для определения волнистости на расчетном диаметре конической поверхности. Каждые три детали из 50-ти прошли также аттестацию на твердость (на приборе Бринеля).

Для проведения исследований использовались экспериментально- статистический и расчетно-аналитический методы.

В качестве СОЖ применяли раствор эмульсола ИХП-459 и масло индустриальное 20.

Упрочнение производилось с использованием раскатника торцевого с коническими и цилиндрическими рабочими элементами на вертикально-сверлильном станке мод. 2Г135 с частотой вращения шпинделя станка 120 об/мин при разных осевых нагрузках 1400 Н, 2600 Н, 4200 Н, 5600 Н.

На рис. 1 представлено изменение шероховатости упрочненной поверхности детали «Борт направляющий» в зависимости от приложенной нагрузки.

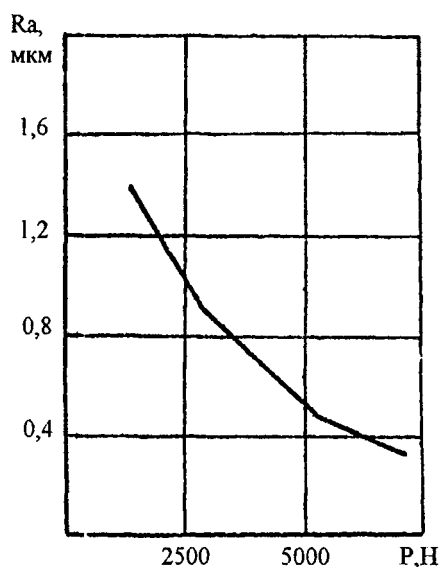


Рис. 1. Изменение шероховатости упрочненной поверхности в зависимости от приложенной нагрузки для исходных образцов после токарной обработки

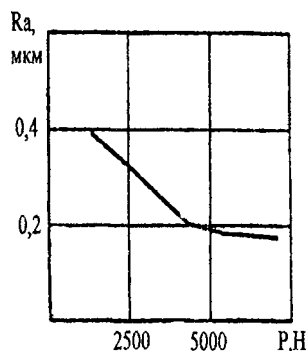


Рис. 2. Изменение шероховатости упрочненной поверхности в зависимости от приложенной нагрузки для исходных образцов после шлифовальной обработки

Данные на графике приведены для образцов после токарной обработки при упрочнении их раскатником с коническими роликами. Как видно из графика шероховатости поверхности уменьшается с увеличением осевой нагрузки на раскатник. Минимальная шероховатость при этом была получена  $Ra=0,4$  мкм при  $PН=7500Н$ . Большая нагрузка на раскатник не прикладывалась из-за ограниченных технических возможностей станка.

На рис. 2 представлено изменение шероховатости упрочненных поверхностей раскатником с коническими роликами в зависимости от приложенной нагрузки при упрочнении шлифованных образцов.

На рис. 3 представлено изменение шероховатости шлифованных образцов после упрочнения их раскатником с цилиндрическими роликами.

Как видно из графика меньшая исходная шероховатость обеспечивает при нагрузке 7500 Н меньшую конечную шероховатость  $Ra=0,28$  мкм.

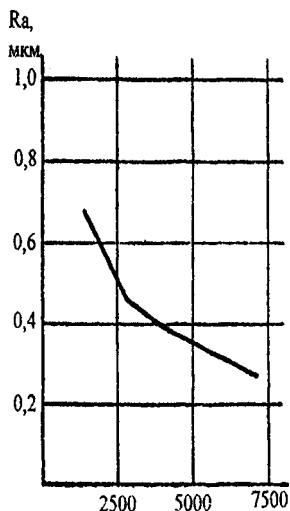


Рис. 3. Изменение шероховатости упрочненной поверхности в зависимости от приложенной нагрузки для исходных образцов после шлифовальной обработки при использовании цилиндрических роликов

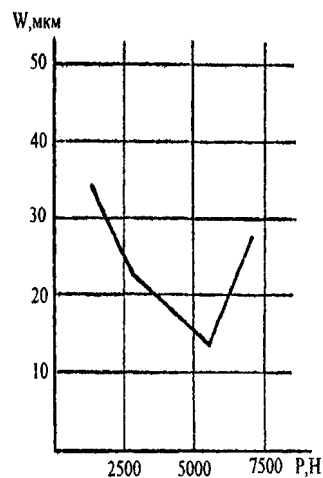


Рис. 4. Изменение волнистости упрочненной поверхности в зависимости от приложенной нагрузки для образцов после токарной обработки.

Изменение волнистости  $W$  от осевого усилия при упрочнении точеных образцов коническими роликами показано на рисунке. Как видно из рисунка оптимальной является волнистость, полученная при осевом усилии  $P=5000$  Н, далее с увеличением нагрузки волнистость поверхности увеличивается. Это подтверждает высказанные нами предположения о том, что если величина прижима больше, чем необходимо для пластической деформации микронеровностей, то происходит деформация слоя металла под микронеровностями. При этом образуются волны, высота которых зависит от давления роликов, пластичности и твердости упрочняемого металла, геометрии роликов, исходной шероховатости и упругих отжатый упрочняемой детали. Следует избегать режимов, при которых образуются значительные волны.

На рис. 5 показано изменение волнистости упрочненной цилиндрическими роликами поверхности на шлифовальных образцах.

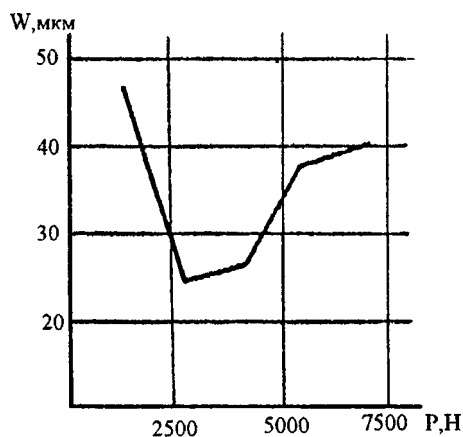


Рис. 5. Изменение волнистости упрочненной поверхности в зависимости от приложенной нагрузки для образцов после шлифовальной обработки

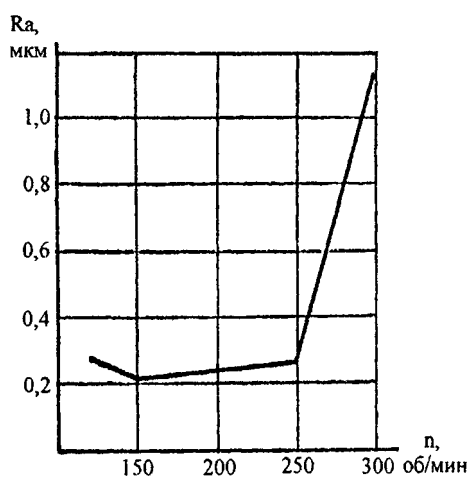


Рис. 6. Изменение шероховатости упрочненной поверхности в зависимости от частоты вращения шпинделя для образцов после токарной обработки

Оптимальная волнистость как и для случая (рис. 4) соответствует усилию 5000 Н.

Для определения влияния скорости раскатника при СПД на шероховатость и волнистость упрочненных поверхностей было отобрано 9 колец деталей «Борт направляющий», из них: после шлифования рабочих поверхностей 5 и после токарной обработки 4 штуки.

Упрочнение деталей производилось с использованием раскатника торцового с коническими и цилиндрическими рабочими элементами на сверлильном станке мод. 2135 с различными частотами вращения шпинделя станка (120 об/мин, 150 об/мин, 200 об/мин, 250 об/мин, 300 об/мин), с осевой нагрузкой на раскатник торцовый 4200 Н.

На рис. 6 представлено изменение шероховатости, а на рис. 7 волнистости рабочих поверхностей упрочненных деталей на различных частотах вращения шпинделя. Заготовки деталей взяты после точения их рабочих поверхностей.

Как видно из рис. 6 шероховатость с увеличением частоты вращения сначала уменьшается, а затем резко вырастает, аналогично волнистость поверхности. Это явление, по-видимому, можно объяснить увеличением вибрации системы СПИД при значительной частоте вращения.

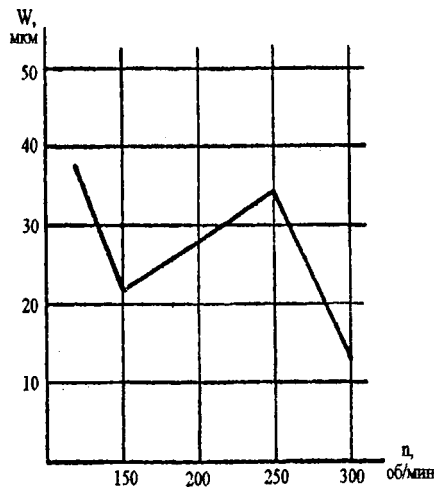


Рис. 7. Изменение волнистости упрочненной поверхности в зависимости от частоты вращения шпинделя для образцов после шлифовальной обработки

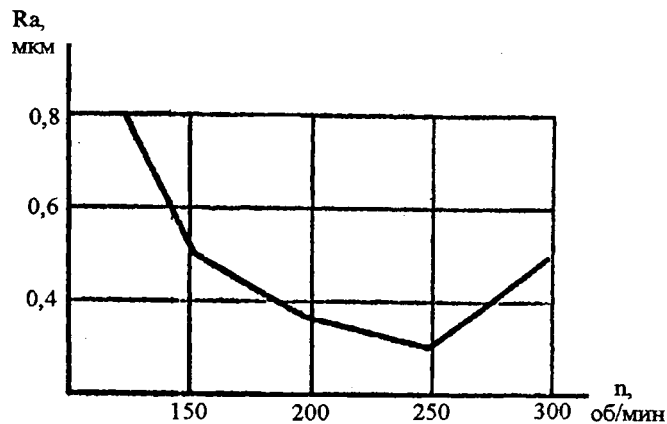


Рис. 8. Изменение шероховатости упрочненной поверхности в зависимости от частоты вращения шпинделя для образцов после шлифовальной обработки

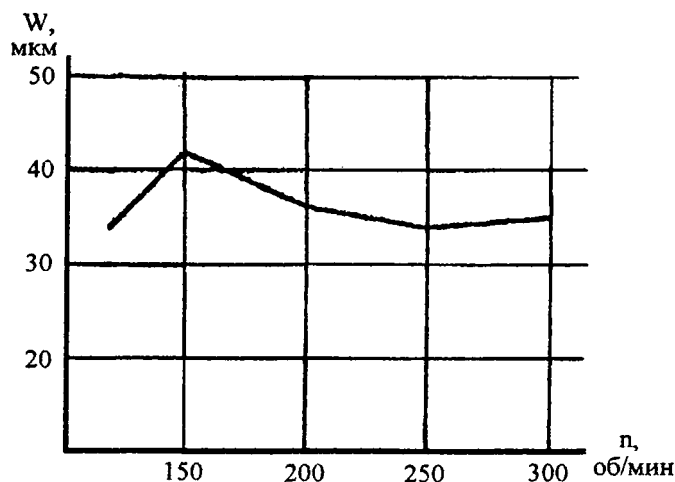


Рис. 9. Изменение волнистости упрочненной поверхности в зависимости от частоты вращения шпинделя для образцов после шлифовальной обработки

На рис. 8 и рис. 9 представлены аналогичные данные как и для рис. 6 рис. 7 только исходные заготовки были шлифованы по коническим поверхностям. Характер влияния частоты вращения на шероховатость и волнистость почти аналогичный предыдущим данным.

Как видно из рис. 2 и рис. 8 существенного влияния геометрии упрочняющих элементов на изменение шероховатости упрочненной поверхности не наблюдается.

Незначительное отличие в шероховатости поверхностей можно объяснить различной исходной шероховатостью поверхности детали.

Геометрия роликов (конический, цилиндрический) существенного влияния на наклеп поверхности не оказывает, также как и на уплотнение поверхностного слоя.

При упрочнении поверхностей было замечено, что выдавливаемая из пор смазка и графит обеспечивают частично замену СОЖ при поверхностном деформировании детали.

Для исследования микротвердости деформированного и исходного спеченного материала были изготовлены ряд микрошлифов. Травление микрошлифов осуществлялось 3% спиртовым раствором азотной кислоты.

Измерение микротвердости производилось на данных микрошлифах на приборе ПМТ-3.

Приведенные ниже графики измененная микротвердости и плотности поверхностных слоев по глубине (рис. 10 и рис. 11) доказывают, что с увеличением усилий деформирования поверхностных слоев деталей «Борт направляющий» наблюдается увеличение микротвердости и одновременное улучшение однородности микротвердости данных слоев по глубине. Последний показатель характеризует повышение плотности поверхностных слоев.

На рис. 10 показано изменение микротвердости по глубине поверхностного слоя при усилии деформирования 2800 Н. Из графика видно, что глубина деформации соответствует порядка 0,15 мм. При этом неоднородность микротвердости составляет порядка 600 МПа, в то время как неоднородность микротвердости на глубине 0,5 мм составляет порядка 1000 МПа, что свидетельствует о повышении плотности деформированного слоя по сравнению с исходной плотностью.

На рис. 11 показано изменение микротвердости по глубине поверхностного слоя при усилии деформирования 4200 Н. Из графика видно, что глубина деформации соответствует порядка 0,25 мм. При этом неоднородность микротвердости составляет порядка 500 МПа, в то время как неоднородность микротвердости на глубине 0,5 мм составляет порядка 1400 МПа, что свидетельствует о более высокой плотности данного деформированного слоя по сравнению с деформированным слоем, обкатанным с усилием 2800 Н.

На рис. 12 представлены данные по изменению микротвердости и плотности поверхностных слоев при ППД с усилием 15000 Н. Из данного графика видно, что глубина деформации соответствует порядка 0,45 мм. При этом неоднородность микротвердости составляет порядка 800 МПа, в то время как неоднородность микротвердости на глубине 0,3 мм составляет порядка

1400 мПа, что свидетельствует о повышении плотности деформированного слоя по сравнению с исходной плотностью.

В целом следует отметить, что исходный спеченный порошковый сплав, применяемый для изготовления деталей «борт», отличается значительной неоднородностью по физико-механическим свойствам. Значение чисел твердости исходного материала находится под понятием «неоднородность микротвердости» подразумевается разброс микротвердости на определенной глубине в пределах НВ 95... 125 по торцовой поверхности.

Это является одной из причин значительного разброса также и значений чисел микротвердости по глубине поверхностного слоя. Поэтому указать конкретное изменение чисел микротвердости при изменении усилий ППД не представляется возможным.

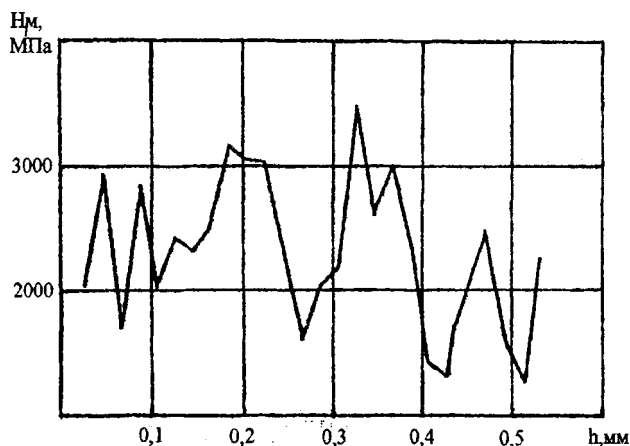


Рис. 10. Изменение микротвердости упрочненной поверхности в глубь образца при усилии деформации 2800 Н

Можно только указать диапазон изменения чисел микротвердости по глубине.

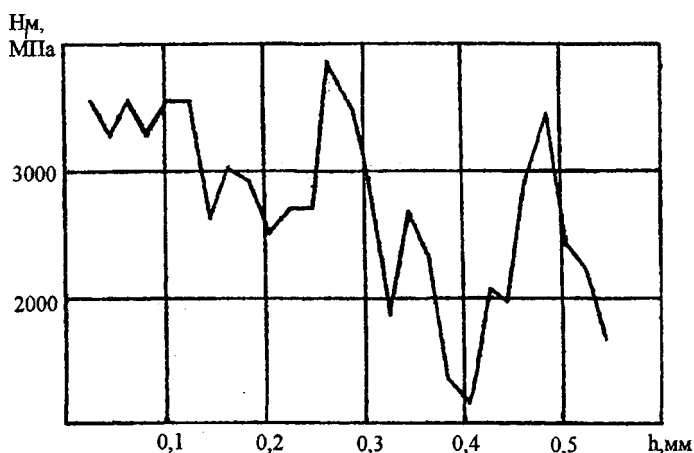


Рис. 11. Изменение микротвердости упрочненной поверхности в глубь образца при усилии деформации 4200 Н

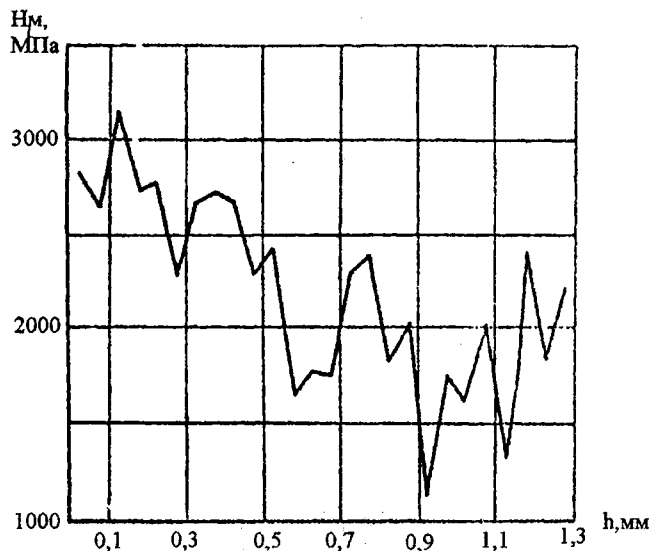


Рис. 12. Изменение микротвердости упрочненной поверхности в глубь образца при усилии деформации 1500 Н

Из рис. 10 видно, что микротвердость деформированного слоя (при усилии обкатывания 2800 Н) выше по сравнению с наименьшей исходной микротвердостью на 200...600 МПа, а при усилии обкатывания 4200 Н этот диапазон уже составляет 700... 1200 МПа (рис. 11).

Из рис. 12 видно, что микротвердость деформированного слоя (при усилии обкатывания 1500 Н) выше по сравнению с наименьшей исходной микротвердостью на 800... 1600 МПа.

Плотность упрочненных поверхностных слоев по сравнению с исходной их плотностью, как показал анализ микрофотографий, существенно не изменяется. Однако наблюдается закрытие пор при деформировании микронеровностей поверхности. «На наш взгляд такое уменьшение пористости упрочненной поверхности не повлияет на эксплуатационные характеристики ее, так как контакт торцов бочкообразных роликов с конической поверхностью плавающего борта осуществляется в точке.

Для определения износостойкости поверхностных слоев спеченных порошковых материалов деталей «Борт направляющий», обработанных методами точения, шлифования и ППД, была использована специальная экспериментальная машина трения, обеспечивающая коэффициент взаимного перекрытия близкий к нулю при испытании на износ малых (пальчиковых) образцов.

Данная машина трения состоит из следующих основных узлов: узла привода (механизма настольно-сверлильного станка типа НС-12), узла нагружения, узла трения, а также резервуара (бачка) со смазочной жидкостью с гидронасосом. Узел трения экспериментальной машины для облегчения удобства наблюдения за зоной трения и состоянием масляной ванны (для охлаждения образцов) помещают в корпус с прозрачными стенками из оргстекла, который крепится на столе машины трения с помощью болтов. Прозрачная крышка из оргстекла закрывает данный корпус сверху и предохраняет рабочее место от разбрызгивания масла.

Собственно, узел трения состоит из патрона, насаженного на конический шпиндель станка, контртела и специальной державки (качалки) с тремя исследуемыми пальчиковыми образцами, которая закрепляется в данном патроне с возможностью самоустановки.

Такая конструкция узла трения и самоустанавливающейся (качающейся) державки обеспечивает равномерное распределение усилия прижима образцов к контртелу.

При испытании на износ пальчиковые образцы размером 4x4x10 (мм) устанавливались в державке и зажимались при помощи винтов и планок.

Рабочая поверхность трех образцов, обработанная тем или иным методом, выставлялась при помощи индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм на одной высоте над базовой плоскостью державки. При необходимости опорная поверхность образца подгонялась (прити-



ралась) по месту, чтобы обеспечить постоянную высоту образцов над базовой плоскостью. После чего образцы клеймились, промывались, сушились и взвешивались.

Рабочая поверхность трех пальчиковых образцов при исследовании их износостойкости составляла порядка  $16 \text{ мм}^2$ .

Вырезка и подгонка образцов по месту в державке производилась в условиях, не допускавших их перегрев и с обильным охлаждением.

Шероховатость обработанной рабочей поверхности образцов соответствовала порядку  $Ra\ 2,5...0,63 \text{ мкм}$  (ГОСТ 2769-73).

Рабочие поверхности чугуновых контртел (дисков) подвергались тонкому чистовому точению на постоянных режимах обработки, чтобы обеспечить шероховатость данных поверхностей в пределах  $Ra\ 1,0...1,25 \text{ мкм}$  (ГОСТ 2789-73).

В качестве контртела применялись чугуновые диски диаметром 60 мм и высотой 15...20 мм, изготовленные из серого чугуна марки СЧ24.

При исследовании интенсивности износа образцов небольших размеров наиболее эффективным методом является определение потерь их массы. Этот метод и был взят за оценку интенсивности износа образцов при трении. Для повышения точности измерений образцы взвешивались на лабораторных аналитических весах модели ВЛА 200-2М.

Результаты износа образцов, упрочненных ППД, сравнивались с износом таких же образцов, обработанных точением или шлифованием.

Общая продолжительность испытаний во всех случаях устанавливалась опытным путем, исходя из величины ощутимого износа.

Периодичность взвешивания образцов в процессе испытания составляла 3,10,15,30,60,120,180 (мин), что соответствовало прохождению образцами пути трения  $0,5 \cdot 10^3$ ;  $1,2 \cdot 10^3$ ;  $2,4 \cdot 10^3$ ;  $4,8 \cdot 10^3$ ;  $9,6 \cdot 10^3$ ;  $19,2 \cdot 10^3$ ;  $26,8 \cdot 10^3$ ;  $36,4 \cdot 10^3$  (м).

Износ определялся как среднее арифметическое результатов взвешивания 3-х образцов, одновременно подвергавшихся истиранию. Если данные не совпадали по 2-3 образцам, то испытания повторялись. При каждой оценке износа производилось 2-3 кратное взвешивание. Результат считался удовлетворительным, если при повторном взвешивании отклонение от предыдущего показания не превышало 0,01 мг.

Исследование износостойкости производилось при постоянной скорости вращения образцов в условиях трения скольжения, равной 0,5 м/с (или 800 об/мин) и при удельном давлении 5 МПа.

Для получения каждой точки на графике производилось в общей сложности 3 опыта по 3 образцам. По этим данным определялось среднее значение износа за определенный путь трения.

Исследования износостойкости образцов деталей «Борт направляющий», обработанный методом точения и шлифования на технологических режимах, установленных по заводской технологии показали, что их износостойкость существенно зависит от исходной твердости материала деталей.

Следует заметить, что твердость спеченного материала марки ЖГрЦЗ, из которого изготовлены детали типа «Борт», характеризуется большими колебаниями чисел твердости от НВ 85 (по требованиям чертежа) до НВ 95... 121 (на образцах деталей, взятых для испытаний на износ). Это значит, что твердость конических рабочих поверхностей таких деталей неоднородна и сказывается на их износе.

На рис. 13 показана зависимость износа исследуемых образцов, обработанных точением, шлифованием и ППД, при удельном давлении в зоне трения 5 МПа и скорости скольжения 0,5 м/с от пути трения.

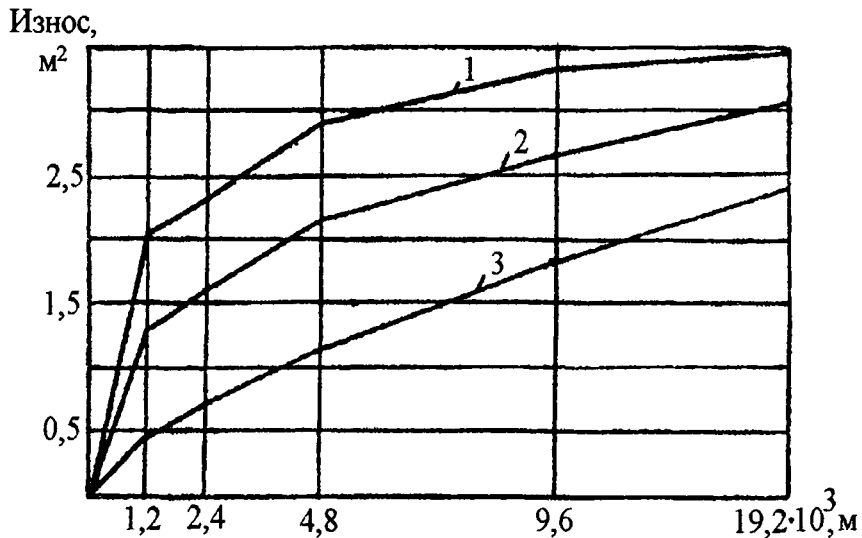


Рис. 13. Зависимость износа образцов от пути трения: 1 – образец после точения; 2 – образец после шлифования; 3 – образец после ППД (усилие  $P=3000$  Н)

Из данных зависимостей видно, что наибольший износ имеют исследуемые образцы, обработанные точением, принятые за эталон.

Меньший износ имеют образцы, обработанные шлифованием.

Очевидно, это можно объяснить тем, что исходная шероховатость конических рабочих поверхностей образцов деталей типа «Борт» обработанных точением находилась в пределах  $Ra$  1,4...2 мкм, а обработанных шлифованием в пределах  $Ra$  6,6... 1,2 мкм.

Наименьший износ имеют образцы деталей, обработанные ППД следующих режимах: усилие обкатывания порядка 1500 Н и 120 об/мин, что можно объяснить тем, что они имели повышенную поверхностную микротвердость при исходной шероховатости поверхности образцов после ППД в пределах  $Ra$  0,18...3,8 мкм.

Относительная (сравнительная) износостойкость образцов, обработанные различными методами после прохождения пути трения  $28,8 \cdot 10^3$  следующая. Упрочненные ППД образцы имеют износ в 1,33 раза меньший, чем шлифованные, и в 1,47 раз меньший, чем обработанные точением.

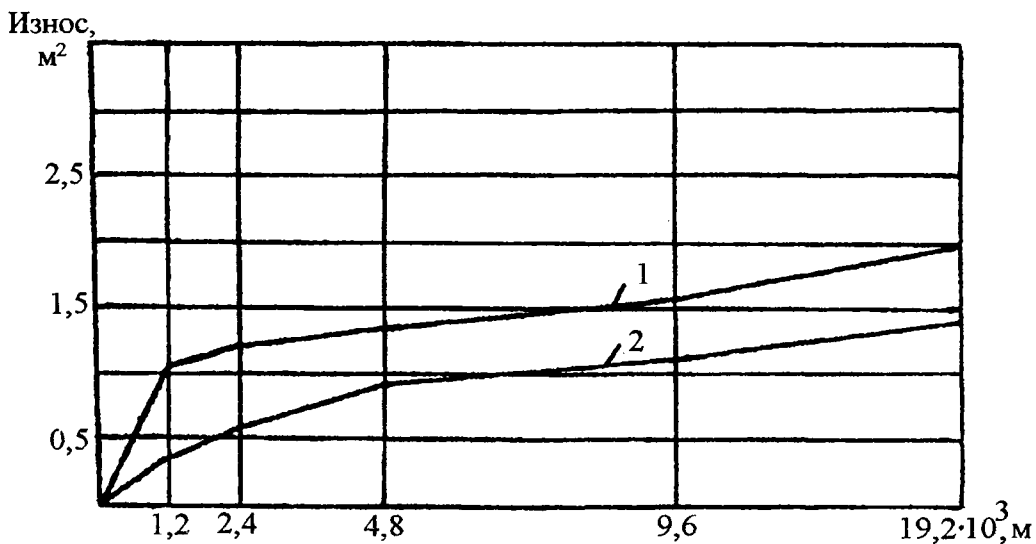


Рис. 14. Зависимость износа образцов от пути трения: 1 – образец после ППД (усилие  $P=3000$  Н); 2 – образец после ППД (усилие 1500Н)

При этом было замечено, что схватывание трущейся пары с образцами, обработанными шлифованием, наблюдалось значительно чаще, чем при истирании образцов, обработанных точением и ППД, что очевидно можно объяснить наличием наклепа поверхностных слоев, обработанных точением или ППД.

Износостойкость рабочих конических поверхностей образцов деталей типа «Борт», обработанных при ППД с различными усилиями и постоянной частоте вращения 200 об/мин, показаны на рис. 14.

При принятых режимах испытаний на износ наименьший износ при прохождении пути трения  $28,8 \cdot 10^3$  (м) имели образцы, обкатанные с усилием порядка 1500 Н.

Выводы:

1. Шероховатость поверхности шлифованных заготовок с исходной  $Ra=0,7$  мкм уменьшилась после обкатки до  $Ra = 0,18...0,38$  мкм, шероховатость точенных заготовок с исходной  $Ra = 1,4$  мкм уменьшилась до  $Ra = 0,38$  мкм при нагрузке обкатки  $P = 7500$  Н.

2. При исследовании процесса обкатки на станке 2Г135 установлено, что при осевой нагрузке от 2500 до 5000 Н и частоте вращения обкатника  $n = 120$  об/мин волнистость поверхности как шлифованных, так и точенных образцов уменьшилась с исходной 35 - 45 мкм до 15 - 25 мкм.

3. При обкатке пористых спеченных материалов марки ЖГр1ДЗ происходит значительное уплотнение поверхностного слоя.

4. Для достижения полного контакта жесткого обкатного инструмента с накатываемой поверхностью необходимо уточнить оптимальный допуск на угол конуса заготовок под упрочнение.

5. Спеченный порошковый материал марки ЖГр1ДЗ, применяемый для изготовления деталей типа «Борт направляющий», отличается значительной неоднородностью по твердости на рабочих поверхностях данных деталей (на исходных образцах твердость находилась в пределах НВ 95...121).

6. Исследования износостойкости поверхностных слоев образцов деталей, упрочненных ППД, показали, что поверхностное пластическое деформирование повышает износостойкость данных слоев в 1,33 раза по сравнению со слоями, обработанными шлифованием, и в 1,47 раз по сравнению с обработкой их точением (при принятых режимах истирания и пути трения  $28,8 \cdot 10^3$  м).

7. Приведенные выше результаты исследований показывают, что ППД является достаточно эффективным методом повышения качества поверхностных слоев типа «Борт направляющий» из спеченных порошковых материалов марки ЖГр1ДЗ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кошель В.М., Лившиц З.Б., Есинович В.Д. Технологические резервы долговечности роликовых подшипников.- «Подшипниковая промышленность», вып.7, 1986 г., с 16-21.
2. Кривко Г.П. Основы совершенствования способов и технологических процессов механической обработки деталей подшипников.- Мн.: УП «Технопринт», 2001г.,202с.
3. Баршай И.Л., Кривко Г.П., Федорцов В.А. Новое в финишной и упрочняющей обработке поверхностным пластическим деформирование деталей из порошковых материалов.- Мн.:БелНИИТИ, 1987.- 32с.