

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

УДК 621.923.4

П. И. ЯЩЕРИЦЫН, А. П. МИНАКОВ,
Я. М. СУРГУНТ, Ю. К. ГОЛАНТ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНО-УДАРНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Важной задачей современного машиностроения является повышение качества и надежности машин. В связи с этим в последнее время большое внимание уделяется методам упрочняющей обработки посредством поверхностного пластического деформирования (ППД), обеспечивающим повышение износостойкости деталей машин. Одним из перспективных направлений в этой области является ППД с созданием на обработанных поверхностях частично или полностью регулярных микрорельефов, позволяющих в значительной мере обеспечивать получение оптимальных геометрических параметров качества поверхности.

Центральной технологической лабораторией могилевского автомобильного завода им. С. М. Кирова совместно с кафедрой «Металлорежущие станки и обработка металлов резанием» Белорусского политехнического института и кафедрой «Технология машиностроения» Могилевского машиностроительного института разработана новая конструкция инструмента для упрочняющей обработки поверхностей деталей машин посредством ППД. Новый инструмент, защищенный патентами США [1], Великобритании [2] и Франции [3], относится к раскатникам импульсно-ударного действия и по своим технологическим возможностям превосходит ряд известных инструментов, предназначенных для упрочняющей обработки поверхностей деталей машин посредством ППД.

На рис. 1 представлен импульсно-ударный шариковый раскатник [1—3] для обработки внутренних поверхностей. Инструмент состоит из корпуса 1, на котором размещены диски 2 и 3, зафиксированные посредством гаек 4. Обращенные друг к другу торцы дисков 2 и 3 образуют камеру расширения Б, имеющую форму кольцевой канавки, в которой свободно размещены приводящие шары 5. На диске 3 расположен стакан 6, имеющий возможность осевого перемещения по внешней резьбовой поверхности диска 3. Обращенные друг к другу торцы диска 2 и стакана 6 образуют кольцевую канавку В, в которой свободно размещены шарики-бойки 7. В заданном положении стакан 6 фиксируется посредством винта 8, упирающегося в резьбу диска 3 через прокладку 9. Регулировка ширины камеры расширения Б осуществляется осевым перемещением диска 3 относительно корпуса 1, после чего диск 3 фиксируется на корпусе 1 гайкой 4 через прокладку 10. Для подвода сжатого воздуха в корпусе 1 выполнено осевое отверстие Г, закрытое с торца пробкой 11 и прокладкой 12. Камера расширения Б соединена с осевым отверстием Г корпуса 1 тангенциальными каналами-соплами Д, а с атмосферой — отверстиями Е. Корпус 1 снабжен резьбовым хвостовиком, на который накручена оправка 13, служащая для закрепления инструмента на станке.

При работе импульсно-ударного инструмента оправка 13 закрепляется, например, в задней бабке токарного станка, а обрабатываемая деталь — в его патроне. Обрабатываемой детали сообщается вращение, а в осевое отверстие Г корпуса 1 подается сжатый воздух. Поступая через тангенциальные каналы-сопла Д в камеру расширения Б, сжатый воздух приводит в круговое движение по призматическим направляющим камеры расширения Б приводящие шары 5. При круговом перемещении приводящие шары 5 осуществляют периодическое ударное воздействие на шарики-бойки 7, размещенные во внешней кольцевой канавке В. Шарики-бойки 7 в свою очередь наносят удары по обрабатываемой поверхности, в результате чего на ней образуется своеобразный микро-рельеф в виде сетки лунок. Под воздействием приводящих шаров 5 и отработанного сжатого воздуха шарики-бойки 7 также получают круговое перемещение относительно оси инструмента, но со значительно меньшей скоростью, чем приводящие шары 5. Ввиду наличия кругового перемещения шариков-бойков 7 оказывается возможной обработка импульсно-

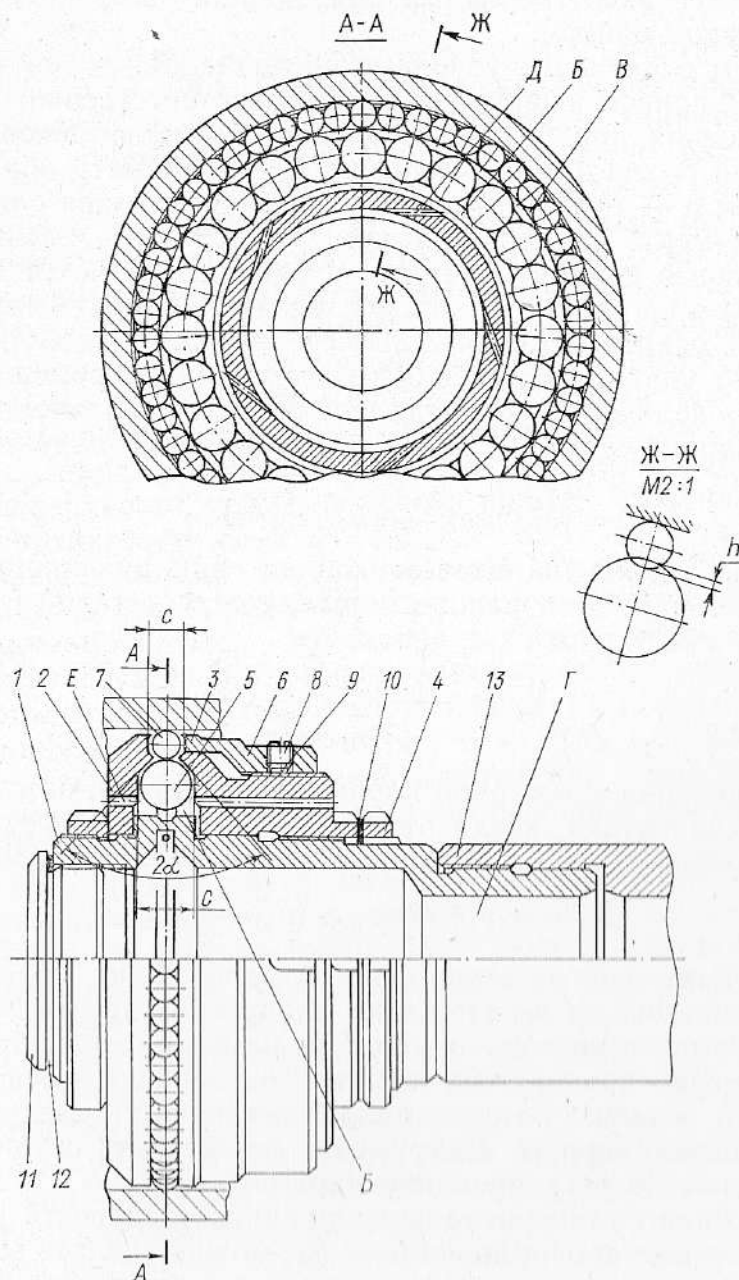


Рис. 1. Импульсно-ударный раскатник для обработки внутренних поверхностей

ударным инструментом невращающихся, например корпусных, деталей. При работе импульсно-ударного инструмента сжатый воздух наряду с функцией привода шаров выполняет функцию охлаждающей среды, так как при попадании его в камеру расширения после выхода из сопел, имеющих малый диаметр, происходит адиабатический процесс расширения газа, сопровождающийся поглощением тепла.

Для определения основных количественных параметров импульсно-ударного процесса обработки примем следующие допущения.

1. В камере расширения инструмента размещено максимально возможное количество приводящих шариков данного диаметра.

2. Во внешней кольцевой канавке инструмента размещено максимально возможное количество шариков-бойков данного диаметра.

3. Приводящие шарики и шарики-бойки в процессе работы инструмента остаются равномерно расположенными по окружности.

4. Приводящие шарики и шарики-бойки в процессе работы инструмента перемещаются равномерно.

5. В процессе работы каждый приводящий шарик контактирует с каждым шариком-бойком.

Принимаем следующие условные обозначения: $z_{ш}$, $z_{б}$ — количество приводящих шариков и шариков-бойков соответственно; $n_{ш}$, $n_{б}$, $n_{д}$ — частоты вращения приводящих шариков, шариков-бойков и обрабатываемой детали соответственно, об/мин; $D_{д}$ — диаметр обрабатываемого отверстия, мм; ρ — радиус отпечатка (лунки) от удара бойка, мм; $S_{ш}$ — подача инструмента на оборот детали, мм/об; N_t — количество ударов шариков-бойков в единицу времени, уд/мин; N_F — количество ударов шариков-бойков на единицу площади, уд/мм²; S_o — суммарная площадь отпечатков от ударов шариков-бойков в единицу времени, мм²/мин.

Количество ударов шариков-бойков в единицу времени прямо пропорционально количеству приводящих шариков, количеству шариков-бойков и разности частоты вращения приводящих шариков и шариков-бойков, уд/мин

$$N_t = z_{ш} z_{б} (n_{ш} - n_{б}).$$

Количество ударов шариков-бойков на единицу площади получим, разделив величину N_t на площадь поверхности детали, перекрываемую бойками за 1 мин, уд/мм²:

$$N_F = \frac{z_{ш} z_{б} (n_{ш} - n_{б})}{\pi D_{д} S_{ш} n_{д}}.$$

Для определения суммарной площади отпечатков, получаемой за одну минуту (для случая, когда отпечатки не перекрывают друг друга), перемножим величину N_t на площадь одного отпечатка, мм²/мин:

$$S_o = N_t \pi \rho^2 = \pi z_{ш} z_{б} (n_{ш} - n_{б}) \rho^2.$$

Для всех приведенных выше формул характерно содержание переменной величины $n_{ш} - n_{б}$. При этом следует отметить, что $n_{б}$ значительно меньше $n_{ш}$, и поэтому влияние $n_{б}$ на параметры обработки мало. Частота вращения приводящих шариков $n_{ш}$ зависит в основном от давления сжатого воздуха, которое можно изменять, и, следовательно, при работе импульсно-ударного инструмента может быть осуществлено простое бесступенчатое регулирование параметров N_t , N_F и S_o . Учитывая, что центробежная сила приводящих шариков и скорость их кругового перемещения также пропорциональны $n_{ш}$, можно сделать вывод, что обусловливаемые этими параметрами глубина и шаг отпечатков на обрабатываемой поверхности от воздействия шариков-бойков, являющихся де-

формирующими элементами, также могут регулироваться изменениями давления сжатого воздуха, поступающего в раскатник.

Сравнение нового инструмента с известными устройствами, обеспечивающими получение на поверхностях деталей близкого к однородному микрорельефа (например, с виброраскатниками [4]), показывает, что новый импульсно-ударный инструмент отличается простотой конструкции и удобствами в эксплуатации.

В центральной технологической лаборатории Могилевского автозавода были проведены экспериментальные исследования созданного импульсно-ударного инструмента, имеющего следующие характеристики.

Номинальный диаметр обработки	125 мм
Наружный диаметр корпуса инструмента	124,3 мм
Диаметр приводящих шариков	13,494 мм
Количество приводящих шариков	20
Диаметр шариков-бойков	9,525 мм
Количество шариков-бойков	38
Материал шариков	Сталь ШХ15
Диаметр сопел	3 мм
Количество сопел	6

Материал исследуемых заготовок — сталь 40X (*HВ* 196) и чугун марки КЧ 35-10 (*HRC* 27—30). Перед раскатыванием заготовки проходили токарную обработку, в результате которой имели диаметр отверстия $125A_3(+0,08)$, а шероховатость, соответствующую по высоте микронеровностей 5—7 кл. (R_a 5—1,25). Обработка заготовок импульсно-ударным инструментом производилась на токарном станке мод. 16К20. Давление используемого сжатого воздуха составляло 5—7 кгс/см².

Цель проводимых экспериментальных исследований — определение основных конструктивных параметров нового инструмента и оптимальных режимов обработки, исследование некоторых параметров полученного микрорельефа поверхности и точностных параметров заготовок.

В процессе экспериментов было установлено, что за счет изменения конструктивных параметров инструмента и режимов обработки на обрабатываемой поверхности можно получать новый микрорельеф в виде лунок при шероховатости 6—9 кл. (R_a 2,5—0,2). При этом наибольшее влияние на шероховатость обрабатываемой поверхности из конструктивных параметров оказывает изменение величины перекрытия шариков h , а из режимов обработки — изменение давления сжатого воздуха.

Так как исследуемый инструмент предполагалось использовать для обработки деталей машин, поверхность отверстий которых в соответствии с требованиями чертежа составляет 6 кл. (R_a 1,6—2,5), в процессе экспериментов были определены необходимые для такой обработки конструктивные параметры инструмента и оптимальные режимы обработки.

Конструктивные параметры: $C=16,1$ мм, $c=10,7$ мм, $2\alpha=90^\circ$, $h=1,6$ мм, где C — ширина внутренней кольцевой канавки, в которой размещены приводящие шарики; c — ширина внешней кольцевой канавки, в которой размещены шарики-бойки; 2α — угол между направляющими, по которым перемещаются приводящие шарики; h — величина перекрытия шариков (разность между наиболее удаленной от оси инструмента точкой приводящего шарика и наименее удаленной от оси инструмента точкой шарика-бойка).

Режимы обработки: $n_d=500$ об/мин; $S_n=0,1$ мм/об; $N_F=30$ уд/мм²; давление сжатого воздуха для обработки чугуна марки КЧ 35-10 — 6,5 кгс/см², а для обработки стали 40X — 5,3 кгс/см²; направление вращения детали и приводящих шариков — встречное.

Полученный полностью новый микрорельеф состоял из лунок глубиной 5—15 мкм и шагом 400—1000 мкм. Остаточная деформация соста-

Характеристики микрорельефа поверхностей, полученных различными способами обработки

Способ обработки	Характеристики					
	Класс шероховатости	R_z , мкм	r_B , мкм	β , град	$\frac{r_B}{R_z}$	σ_{R_z}
Внутреннее шлифование	6(R_a 1,6—2,5)	9,05	30	20°12	3	1,54
Раскатывание шаром	6(R_a 1,6—2,5)	9,0	200	12°18	20	0,95
Виброобкатывание	6(R_a 1,6—2,5)	8,1	2900	2°28	290	0,65
Импульсно-ударное раскатывание. Материал КЧ 35-10	6(R_a 1,6—2,5)	8,7	5800	1°36	580	0,70
Импульсно-ударное раскатывание. Материал сталь 40X	6(R_a 1,6—2,5)	8,2	5200	1°02	520	0,73

Примечание. r_B — радиус закругления вершин микронеровностей; β — угол наклона боковых сторон микрорельефа к средней линии; r_B/R_z — отношение радиуса закругления вершин микронеровностей к их высоте; σ_{R_z} — коэффициент неоднородности микрорельефа.

вила 30—40 мкм на диаметр отверстия. Проведенные эксперименты показали, что для получения отверстий с размерами, соответствующими $\varnothing 125A_3 (+0,08)$, нет необходимости оставлять под раскатывание отдельный припуск, но, учитывая величину остаточной деформации, на предшествующей раскатыванию операции следует выполнять размер отверстия ближе к нижнему пределу его допуска. Сравнение исследуемого процесса на указанных режимах обработки по производительности с виброобкатыванием [4] обнаруживает, что при раскатывании сталей импульсно-ударным инструментом достигается повышение производительности в 1,2 раза, а при раскатывании чугуна — в 2 раза.

На основании данных профилограмм были определены некоторые нестандартизованные характеристики микрорельефа поверхностей, полученных импульсно-ударной обработкой. Для сравнения в таблице приведены аналогичные характеристики поверхностей, полученных шлифованием, раскатыванием шаром и виброобкатыванием. Анализ таблицы позволяет сделать вывод, что по величинам приведенных характеристик исследуемый процесс обработки близок к виброраскатыванию и значительно превосходит шлифование и раскатывание шаром.

На рис. 2 приведены кривые опорных поверхностей, построенные по известной методике [5] на основе профилограмм поперечной шероховатости. Сравнительный анализ полученных кривых с аналогичными кривыми опорных поверхностей, обработанных растачиванием, шлифованием и виброобкатыванием [4], показывает, что они наиболее близки к кривым, полученным по результатам виброобкатывания поверхностей. Как и виброобкатанная поверхность, поверхность, обработанная им-

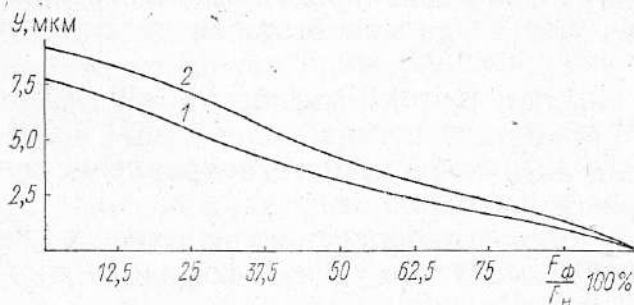


Рис. 2. Кривые опорных поверхностей, обработанных импульсно-ударным инструментом: 1 — для образцов из стали 40X; 2 — для образцов из чугуна марки КЧ 35-10

пульсно-ударным инструментом, ввиду малых углов наклона боковых сторон микрорельефа к средней линии, больших радиусов закругления вершин, больших шагов микронеровностей, достаточно высокой степени однородности микронеровностей обеспечивает одновременно и большую маслоемкость и хорошую несущую способность.

На рис. 3 показаны кривые площадей опорных поверхностей, обработанных растачиванием, шлифованием, раскатыванием шаром и импульсно-ударным инструментом при различных величинах сближения a , т. е. на различных расстояниях от линии, огибающей вершины микронеровностей. Все поверхности, опорные кривые которых показаны на рис.

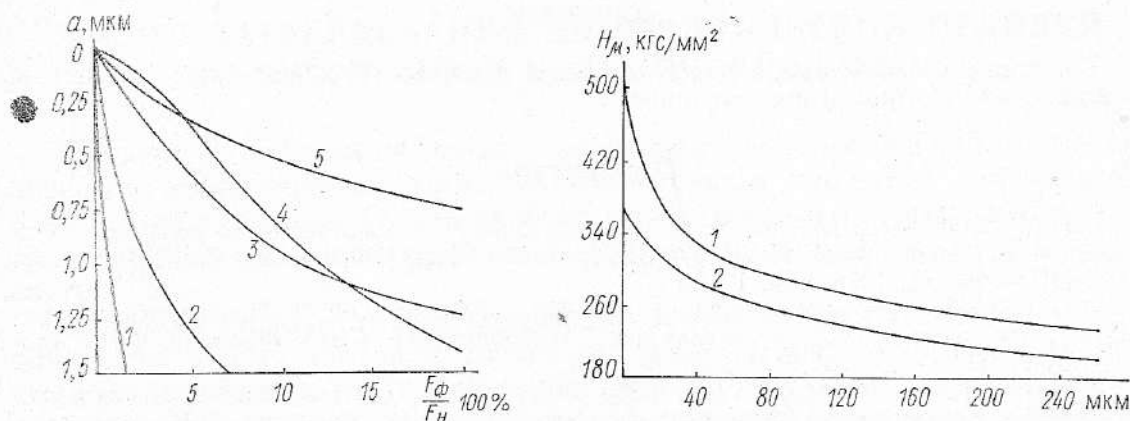


Рис. 3. Кривые площадей опорных поверхностей, обработанных растачиванием (1), шлифованием (2), раскатыванием шаром (3), импульсно-ударной обработкой (4 и 5 соответственно для образцов из чугуна марки КЧ 35-10 и стали 40X) при различных величинах сближения a . Шероховатость всех поверхностей — 6 кл. (R_a 1,6—2,5)

Рис. 4. Зависимость микротвердости от глубины распределения наклепа при обработке импульсно-ударным инструментом: 1 — для образцов из чугуна марки КЧ 35-10; 2 — для образцов из стали 40X

3, имели высоту микронеровностей, соответствующую шероховатости 6 кл. (R_a 1,6—2,5). Кривые опорных поверхностей для растачивания, шлифования и раскатывания шаром построены по данным технической литературы [6]. Из анализа приведенных начальных участков кривых следует, что в начальный период приработки поверхность, обработанная импульсно-ударным инструментом, обеспечивает высокую несущую способность — значительно большую, чем расточенная и шлифовальная, и почти такую же, как раскатанная шаром. В то же время поверхность, обработанная импульсно-ударным инструментом, характеризуется большей маслоемкостью, чем расточенная, шлифованная и раскатанная шаром. Таким образом, можно предположить, что в начальный период приработки поверхность, обработанная импульсно-ударным инструментом, имеет характеристики, обеспечивающие высокую износостойкость и уменьшение трения в подвижных соединениях.

Замеры микротвердости, произведенные на приборе ПМТ-3, для образцов, обработанных импульсно-ударным инструментом, показывают, что в результате такой обработки достигается значительная степень наклепа: свыше 80% для стали 40X (до 373 кгс/мм² при исходной микротвердости 196 кгс/мм²) и свыше 100% для чугуна марки КЧ 35-10 (до 536 кгс/мм² при исходной микротвердости 232 кгс/мм²). Глубина распределения наклепа после обработки импульсно-ударным инструментом в исследованных образцах составила 0,22—0,26 мм.

По степени наклепа и глубине его распределения исследуемый процесс обработки значительно превосходит виброобкатывание [4]. Зави-

симось микротвердости от глубины распределения наклепа для исследуемого процесса обработки показана на рис. 4.

Следует отметить, что по ряду нестандартных геометрических характеристик качества поверхности, в значительной мере определяющих ее несущую способность и износостойкость, исследуемый процесс обработки для поверхностей с шероховатостью 6 кл. (R_a 1,6—2,5) обеспечивает лучшие показатели, чем шлифование, раскатывание шаром и виброобкатывание. При этом степень упрочнения поверхностного слоя для стали 40Х составляет 80%, для чугуна КЧ 35-10— свыше 100%.

Summary

The impulse shock strengthening process is described. The optimum parameters of the process and instrument are determined.

Литература

1. Пат. 3945098 (США), кл. В24в 39/00 от 23.03.76. Изобретения за рубежом /Объединенное издание бюллетеней Великобритании, США, Франции, ФРГ, Японии.— ЦНИИПИ—Москва, 1976, вып. 10, № 9.
2. Пат. 1463638 (Великобритания), кл. В21с 45/00 от 2.02.77. Изобретения за рубежом /Объединенное издание бюллетеней Великобритании, США, Франции, ФРГ, Японии.— ЦНИИПИ—Москва, 1977, вып. 10, № 8.
3. Пат. 2315354 (Франция), кл. В23р 9/04 от 2.12.77. Изобретения за рубежом /Объединенное издание бюллетеней Великобритании, США, Франции, ФРГ, Японии.— ЦНИИПИ—Москва, 1977, вып. 10, № 4.
4. Шнейдер Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства.— Л.: Машиностроение, 1972, 240 с.
5. Дунин-Барковский И. В., Карташова А. Н. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности.— М.: Машиностроение, 1978, 231 с.
6. Каледин Б. А., Чепа П. А. Повышение долговечности деталей поверхностным пластическим деформированием.— Мн.: Наука и техника, 1974, 230 с.

Могилевский автомобильный завод
им. С. М. Кирова,
Могилевский машиностроительный институт,
Белорусский политехнический институт

Поступила в редакцию
27.09.79