

УДК 621.787:621.91

С. Н. Близнюк, А. М. Довгалева, канд. техн. наук, доц.

УПРУГОСИЛОВОЙ МЕТОД КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ И ППД

В работе выполнен анализ существующих схем совмещенной обработки резанием и ППД и показана роль режущего и деформирующего инструментов в формировании точностных и качественных характеристик обработки. Обоснован упругосиловой метод комбинированной обработки, позволяющий использовать упругие свойства технологической системы для повышения точности формообразования. Приведены результаты исследований размерной и геометрической точности обработки цилиндрических поверхностей.

Важнейшей задачей для машиностроителей является повышение производительности механической обработки на основе применения комбинированных методов обработки, позволяющих операции формообразования и обеспечения качественных характеристик поверхностного слоя детали совместить в один технологический переход [1].

Одним из эффективных методов комбинированной обработки является совмещенная обработка резанием и поверхностным пластическим деформированием (ППД), позволяющая в 2–3 раза увеличить производительность механической обработки, повысить усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость упрочненных деталей. При этом обеспечивается шероховатость поверхности $Ra\ 0,63...0,10$ мкм, упрочнение поверхностного слоя на глубину до 12 мм, в поверхностном слое детали формируются благоприятные напряжения сжатия [2–4].

В развитие методов совмещенной обработки резанием и ППД большой вклад внесли работы П. С. Чистосердова, Г. М. Азаревича, А. М. Кузнецова, В. М. Смелянского, Ю. Г. Шнейдера и их учеников [2–6].

Известные схемы совмещенной обработки резанием и ППД в зависимости от функций, выполняемых режущим и деформирующим элементами, условно можно разделить на три группы.

Первая группа. Режущий элемент

комбинированного инструмента в процессе обработки осуществляет снятие с детали припуска на обработку и обеспечивает точность размера формируемой поверхности. Деформирующий элемент при этом прижимается силой деформирования к обрабатываемой поверхности посредством пружины, осуществляет ее поверхностное пластическое деформирование и формирует требуемые качественные характеристики поверхностного слоя.

Эти схемы совмещенной обработки, реализующиеся на станках токарной группы, обеспечивают точность обработки по 8–9 квалитетам и позволяют осуществлять отделочно-упрочняющую обработку гладких цилиндрических поверхностей [2].

Вторая группа. Точность размеров обрабатываемой поверхности и качественные характеристики поверхностного слоя обеспечивают деформирующие элементы. При этом деформирующие элементы установлены «жестко» к обрабатываемой поверхности и настроены на размер обработки. В процессе поверхностного пластического деформирования поверхности деформирующие элементы образуют перед собой волну деформированного металла высотой h . Режущий элемент подрезает волну деформированного металла и тем самым обеспечивает постоянный натяг деформирования по длине обработки и стабильные качественные характеристики

упрочненного поверхностного слоя [5].

Методы совмещенной обработки этой группы разработаны относительно недавно и находят применение для упрочнения поверхностей маложестких валов с прямолинейной образующей.

Третья группа. Режущий и деформирующий элементы обеспечивают точность размеров, а деформирующий элемент одновременно осуществляет формирование качественных характеристик упрочняемого слоя детали. Схемы совмещенной обработки третьей группы используются для упрочняющей обработки внутренних поверхностей вращения с помощью комбинированного инструмента, содержащего корпус, резец и жесткий раскатник. При этом точность обработки соответствует 8–9 уровням [2, 3].

Таким образом, анализ существующих схем совмещенной обработки показывает, что они находят применение для упрочнения наружных и внутренних поверхностей вращения, а также плоских деталей, имеющих прямолинейную образующую. Совмещенная обработка резанием и ППД цилиндрических шеек ступенчатых валов затруднена или невозможна. Это связано с последовательностью вступления в работу режущего и деформирующего инструментов и наличием расстояния между их вершинами. В результате в конце рабочего хода, когда режущий инструмент доходит до торцевой поверхности ступени вала, на обрабатываемой шейке имеется участок, не упрочненный деформирующим инструментом. Кроме того, последовательное вступление в работу режущего, а затем деформирующего инструментов приводит к нагружению технологической системы силой деформирования в тот момент, когда режущий инструмент снимает с детали припуск на обработку. Возникающие под действием силы деформирования упругие отжатия элементов системы изменяют размер динамической настройки режущего инструмента и снижают точность формообразования поверхности.

Вместе с тем в автомобильной про-

мышленности и сельхозмашиностроении в номенклатуре изготавливаемых деталей большую часть составляют ступенчатые валы, имеющие высокоточные цилиндрические поверхности различной ширины, в том числе шейки под подшипники.

На основе изложенного разработаны новые высокопроизводительные методы совмещенной обработки резанием и ППД высокоточных цилиндрических поверхностей, в том числе шеек под подшипники, на станках токарной группы является актуальной задачей, т. к. позволяет исключить из технологических процессов изготовления валов операции шлифования шеек и существенно снизить себестоимость их изготовления [7].

Для решения поставленной задачи был разработан упругосиловой метод комбинированной обработки резанием и ППД высокоточных шеек валов, позволяющий использовать упругие свойства технологической системы для повышения размерной и геометрической точности [7, 8].

Метод осуществляют специальным упрочняющим инструментом, содержащим корпус 1, деформирующий элемент 2, подшипниковую опору 3, валик 4, ползун 5, ограничитель 6, силовую пружину 7, винт 8, гайку 9, упор 10, контргайку 11. Для реализации метода в условиях автоматизированного производства в системе управления предусмотрены: исполнительный механизм 12; устройство усиления 13; сравнивающее устройство 14; задающее устройство 15; датчик упругих перемещений 16; датчик измерения силы деформирования 17. Корпус 1 упрочняющего инструмента устанавливается в резцедержателе 18, а резец 19, имеющий прямолинейную режущую кромку 20, – в державке 21, жестко соединенной со станиной станка (рис. 1).

Обрабатываемую деталь 22 закрепляют в центрах 23 станка. Режущий инструмент 19 и упрочняющий инструмент располагают с диаметрально про-

тивоположных сторон обрабатываемой шейки 24 детали 22. Прямолинейную образующую 20 режущего инструмента 19 размещают параллельно обрабатываемой шейке 24 на расстоянии N от оси 25 центров станка, величину которого определяют из соотношения

$$N = \frac{D_{cp}}{2} + y, \quad (1)$$

где D_{cp} – средний диаметр обработки, мм;

$$D_{cp} = (D_{max} + D_{min}) / 2;$$

где D_{max} , D_{min} – наибольший и наименьший допустимые размеры обрабатываемой шейки соответственно, мм; y – величина упругого смещения центров станка в направлении режущего инструмента под действием номинальной величины силы деформирования, мм.

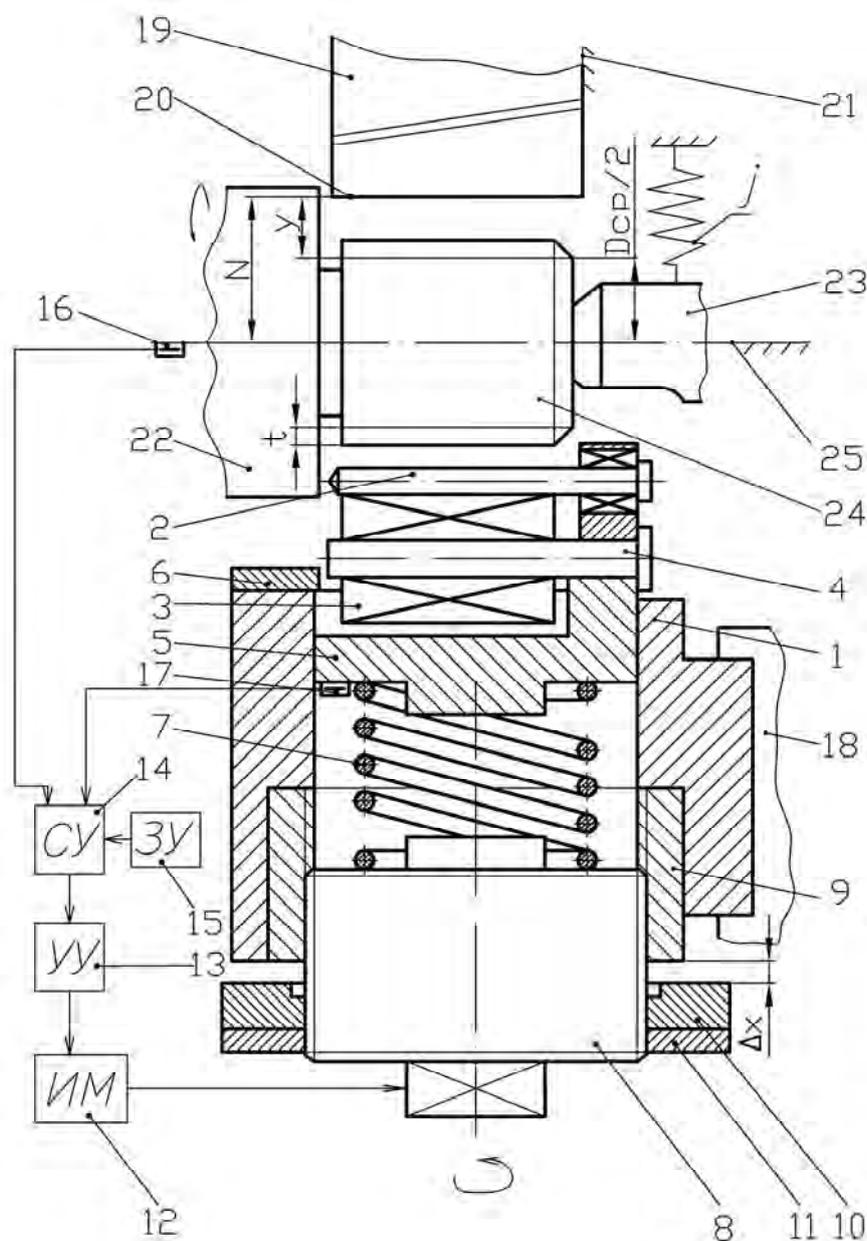


Рис. 1. Схема расположения элементов технологической системы до обработки

Величину упругого смещения центров станка под действием номинальной величины силы деформирования определяем из выражения

$$y = \frac{P_{\text{деф.н.}}}{j}, \quad (2)$$

где j – жесткость центров станка, Н/мм; $P_{\text{деф.н.}}$ – номинальная величина силы деформирования, Н.

Подставив значение (2) в выражение (1), окончательно получим величину размера N статической настройки режущего инструмента:

$$N = \frac{D_{\text{ср}}}{2} + \frac{P_{\text{деф.н.}}}{j}. \quad (3)$$

Детали 22 сообщают вращение. Нагружают деталь 22 силой деформирования, увеличивая ее до номинального значения. Исполнительный механизм 12 поворачивает винт 8 инструмента и осуществляет сжатие силовой пружины 7. Пружина 7, сжимаясь, смещает ползун 5 и обеспечивает деформирующему элементу 2 радиальное перемещение. Деформирующий элемент 2 входит в контакт с обрабатываемой поверхностью шейки 24 и осуществляет ее поверхностное пластическое деформирование. При этом изменение величины силы деформирования и упругое смещение детали 22 контролируют соответственно датчики 17 и 16. Показания датчиков 16 и 17, преобразованные в электрические сигналы, поступают в сравнивающее устройство 14, где электрические сигналы сравниваются с эталонными сигналами задающего устройства 15. Исполнительный механизм 12 в соответствии с величиной и знаком сигнала рассогласования изменяет величину силы деформирования и скорость упругого смещения детали 22 в направлении режущего инструмента 19. По мере увеличения силы деформирования возрастает значение упругого смещения детали 22 на режущий инструмент 19. В определен-

ный момент времени резец 19 касается обрабатываемой шейки 24 и начинает снимать припуск на обработку. Происходит совмещенная обработка шейки 24 резанием и ППД. В момент совмещения во времени процессов резания и поверхностного пластического деформирования исполнительный механизм 12 переходит на новый режим работы и, в соответствии с программой задающего устройства 13, обеспечивает упругое смещение обрабатываемой детали 22 со скоростью V . Скорость V упругого смещения детали 22 выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого металла и характеристик режущего инструмента (рис. 2).

Когда сила деформирования достигает номинального значения $P_{\text{деф.н.}}$, упругое смещение детали 22 прекращается. Режущий инструмент снимает предусмотренный на обработку припуск и калибрует поверхность шейки 24 в размер $D_{\text{ср}}$. С этого момента времени в контакте с обрабатываемой поверхностью шейки 24 находится только деформирующий элемент 2, осуществляющий окончательную отделочно-упрочняющую обработку.

Таким образом, все детали обрабатываемой партии нагружаются номинальной силой деформирования при одинаковой жесткости центров станка. Это приводит к стабилизации величины упругого смещения детали на режущий инструмент и повышению точности обработки [7].

С целью выявления точностных возможностей разработанного метода были проведены статистические исследования размерной и геометрической точности получения шеек обрабатываемых валов.

Для проведения эксперимента были взяты две партии валов: 50 шт. из стали 40Х (220–240 НВ) и 50 шт. из сплава Д16Т (90–100 НВ).

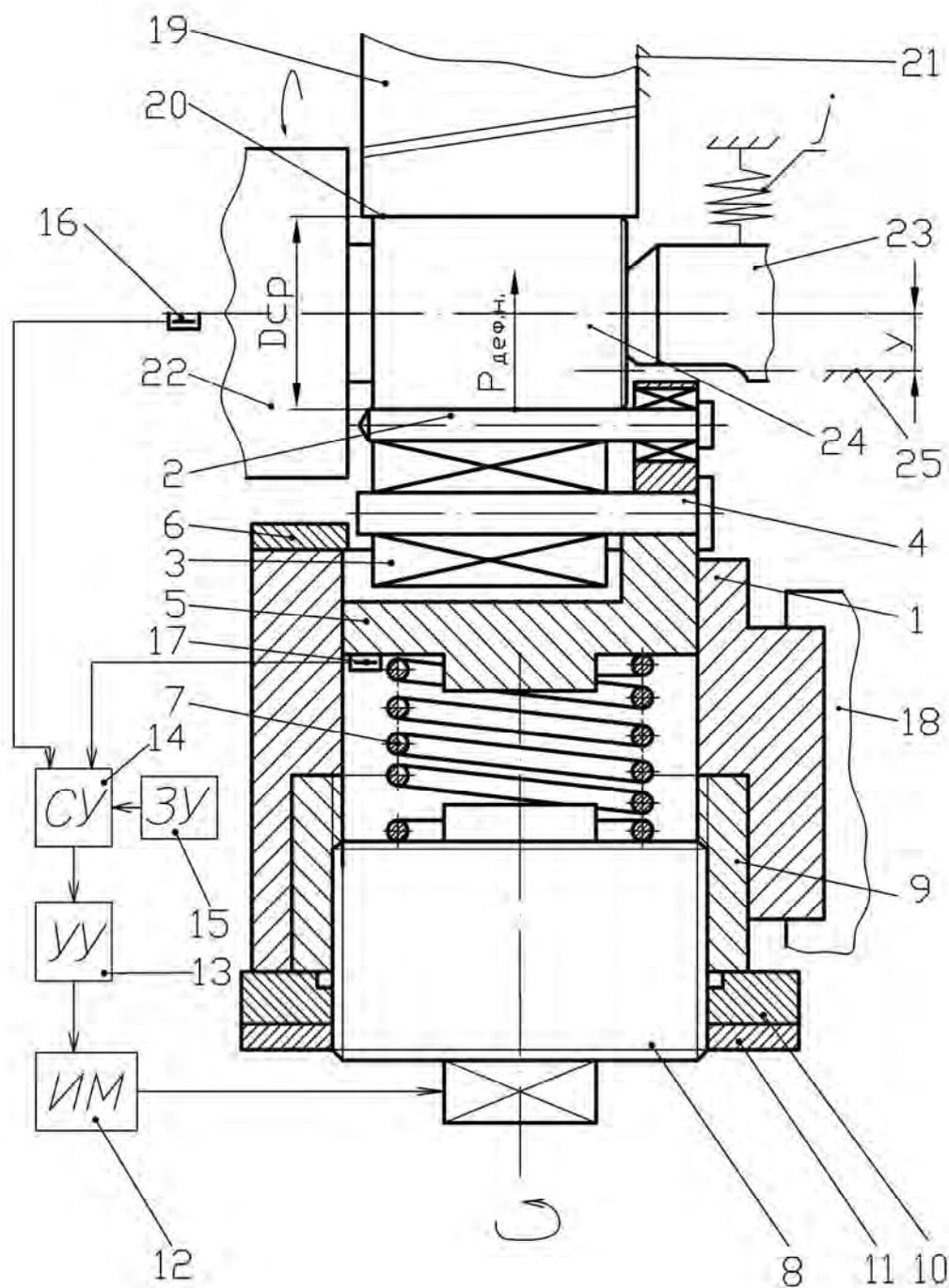


Рис. 2. Схема расположения элементов технологической системы после обработки

Обработку шеек валов по разработанному методу осуществляли на станке 16К20ПФ1. Размеры обрабатываемых заготовок: диаметр вала – 60 мм; длина вала – 200 мм; диаметр шейки вала до обработки – $41_{-0,210}$ мм (12 квалитет по СТСЭВ 144-75); длина обрабатываемой

шейки – 30 мм; требуемый номинальный диаметр шейки вала после обработки D_n – 40 мм.

В качестве режущего инструмента использовали призматический резец. Материал режущей части – Т15К6. Диаметр деформирующего ролика упрочняющего

инструмента – 3,5 мм, материал деформирующего ролика ШХ 15 (60–62 HRC). Для измерения диаметрального размера упрочненных шеек использовали скобу с отсчетным устройством с ценой деления 0,0005 мм. Базирование валов осуществляли в специальных невращающихся центрах с повышенной податливостью ($j = 150$ Н/мм).

Режимы обработки: скорость вращения детали $V_{\text{дем.}} = 80$ м/мин; номинальная величина силы деформирования – 600 Н; припуск на обработку – 1 мм; охлаждение – эмульсия.

Размер статической настройки реза определяли по математической зависимости (3)

$$N = \frac{D_{\text{сп.}}}{2} + \frac{P_{\text{деф.н.}}}{j}.$$

При симметричном расположении поля допуска диаметрального размера имеем:

$$D_{\text{сп.}} = D_{\text{н.}} = 40 \text{ мм};$$

$$N = \frac{40}{2} + \frac{600}{150} = 20 + 4 = 24 \text{ мм}.$$

В экспериментальных условиях нагружение детали силой деформирования от нуля до номинального значения осуществляли в ручном режиме путем поворота винта «до упора», обеспечивая тем самым требуемую величину сжатия силовой пружины упрочняющего инструмента. При этом измерение упругих перемещений вала и силы деформирования не производили.

Согласно положениям математической статистики для каждой партии валов были построены эмпирические и теоретические кривые распределения диаметрального размера обработанных шеек и определены среднее арифметическое значение \bar{X} и среднее квадратическое отклонение S [9, 10]:

$$\begin{aligned} & \text{– сталь 40X: } \bar{X}_1 = 0,0001 \text{ мм}; \\ & S_1 = 0,0040 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– сплав Д16Т: } \bar{X}_2 = 0,0005 \text{ мм}; \\ & S_2 = 0,0025 \text{ мм}. \end{aligned}$$

В результате обработки были обеспечены следующие качества размерной точности по СТ СЭВ 144-75:

$$\begin{aligned} & \text{– сталь 40X – 7 квалитет} \\ & (6S_1 = 0,024 \text{ мм при допуске} \\ & \delta = 0,024 \text{ мм}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– сплав Д16Т – 6 квалитет} \\ & (6S_2 = 0,015 \text{ мм при допуске} \\ & \delta = 0,016 \text{ мм}). \end{aligned}$$

Величину отклонения от круглости обработанных шеек валов измеряли с помощью кругломера «TOLYPOND-3». На основе положений математической статистики были построены эмпирические и теоретические кривые распределения отклонения от круглости шеек валов для каждой обрабатываемой партии (рис. 3).

Среднее арифметическое значение \bar{R} и среднее квадратическое отклонение σ составили:

$$\begin{aligned} & \text{– сталь 40X – } \bar{R}_1 = 0,0095 \text{ мм}, \\ & \sigma_1 = 0,008 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– сплав Д16Т – } \bar{R}_2 = 0,008 \text{ мм}, \\ & \sigma_2 = 0,007 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Точность геометрической формы обработанных шеек валов соответствовала следующим квалитетам точности:

$$\begin{aligned} & \text{– сталь 40X – 8 квалитет} \\ & (\Delta R_1 = 0,028 \text{ мм при допуске} \\ & \sigma_1 = 0,038 \text{ мм}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– сплав Д16Т – 7 квалитет} \\ & (\Delta R_2 = 0,024 \text{ мм при допуске} \\ & \sigma_2 = 0,024 \text{ мм}). \end{aligned}$$

Выводы

Разработанный упругосиловой метод комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием позволяет осуществлять отделочно-упрочняющую обработку шеек ступенчатых валов.

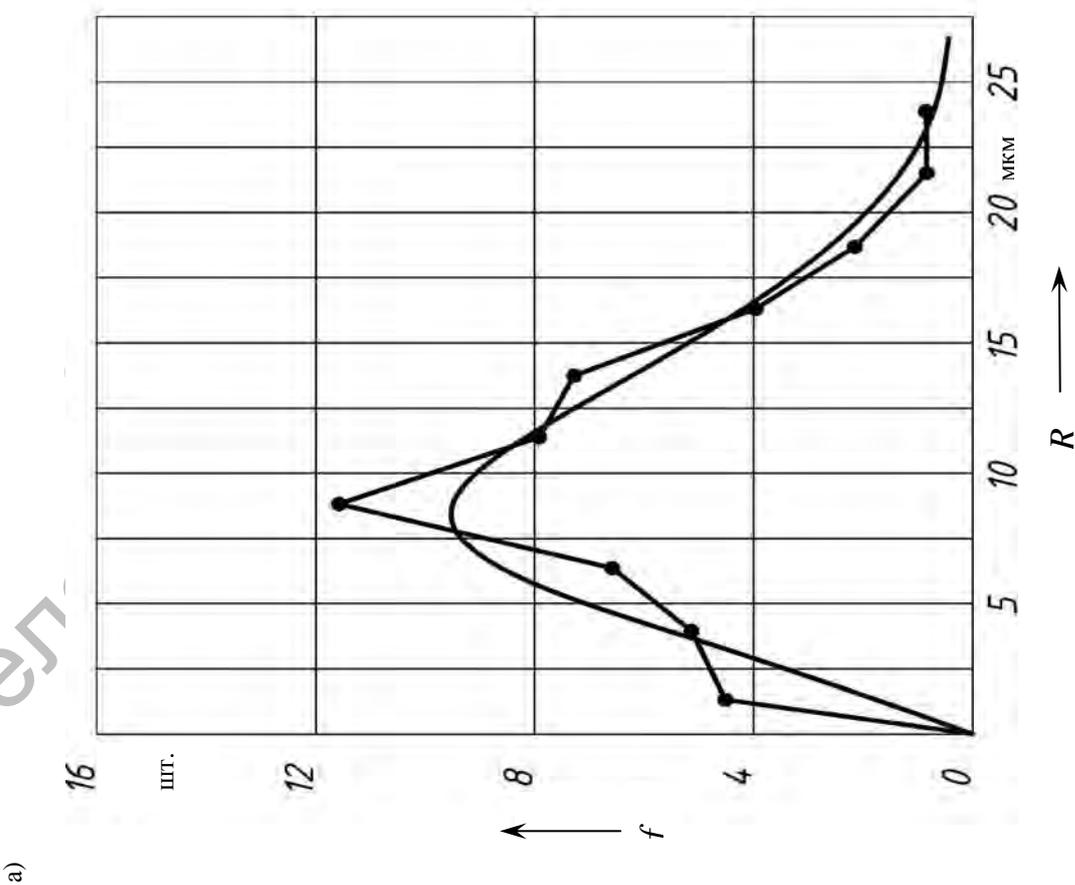
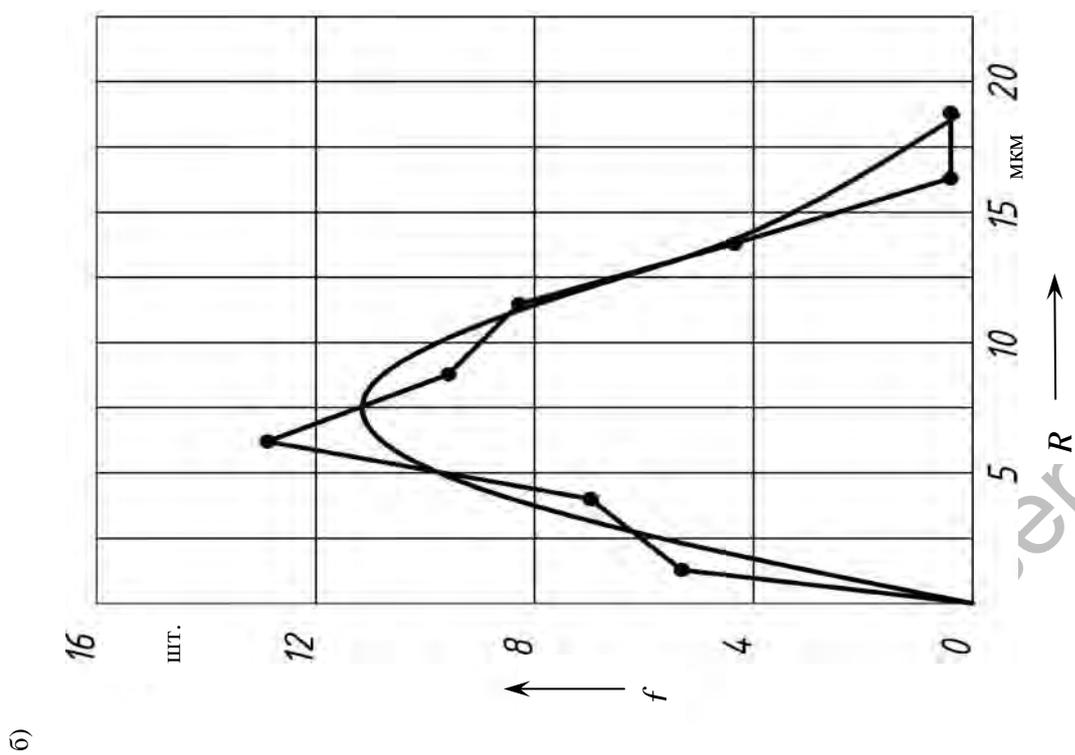


Рис. 3. Отклонение от круглости шеек валов: а – сталь 45; б – Д16Т

При реализации метода на станках токарной группы обеспечиваются 6–7 квалитеты размерной и 7–8 квалитеты геометрической точности формообразования цилиндрических поверхностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маслов, А. Р.** Многооперационные станки и системы с ЧПУ / А. Р. Маслов. – М. : ИТО, 2006. – 223 с.
2. **Чистосердов, П. С.** Комбинированные инструменты для отделочно-упрочняющей обработки / П. С. Чистосердов. – Минск : Беларусь, 1977. – 124 с.
3. **Чистосердов, П. С.** Комбинированные инструменты для совмещения процессов резания и поверхностного пластического деформирования / П. С. Чистосердов. – Минск : НИИмаш, 1975. – 45 с.
4. **Чистосердов, П. С.** Комбинированные инструменты для обработки поверхностей пластическим деформированием / П. С. Чистосердов, Г. С. Жуковец. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1973. – 75 с.
5. **Смелянский, В. М.** Особенности размерообразования при совмещенном обкатывании /

В. М. Смелянский, В. А. Васильев // Автомобильная промышленность. – 1982. – № 3. – С. 28–30.

6. **Чистосердов, П. С.** Управление точностью обработки при совмещении процессов резания и ППД / П. С. Чистосердов // Вестн. машиностроения. – 1985. – № 11. – С. 17–18.

7. **Близинок, С. Н.** Малооперационные технологии изготовления валов с применением совмещенной обработки резанием и ППД / С. Н. Близинок, А. М. Довгалева // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – С. 70.

8. **Довгалева, А. М.** Управление колебаниями при упругосиловом методе комбинированной обработки / А. М. Довгалева, С. Н. Близинок // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – С. 89.

9. **ГОСТ 11.004.** Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 20 с.

10. **ГОСТ 11006-74.** Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 32 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 19.12.2008

S. N. Blizniuk, A. M. Dovgalev
Elastic force method of combined machining
by cutting and surface plastic deformation

In the article the analysis of existing patterns of combined machining by cutting and surface plastic deformation is done, besides, the role of cutting and deformation tools in formation of accuracy and qualitative characteristics of machining is demonstrated. The article explains the elastic force method of combined machining which makes it possible to use technological system elastic characteristics for shaping accuracy increase. The results of analysis of dimensional and geometric accuracy of cylindrical surfaces machining are given as well.