

В.И. Савчук, канд. техн. наук, доцент, А.В. Евтухов, канд. техн. наук, доцент (Сумский государственный университет) г. Сумы, Украина

Технологические особенности обработки подшипниковых шеек валов суперфинишированием

Предложена кинематическая схема обработки подшипниковых шеек валов колеблющимися брусками с двухсторонним охватом обрабатываемой поверхности вала и жёсткой кинематической связью между брусками и прижимом брусков к изделию с заданной силой через тормозящиеся звенья.

Ключевые слова: суперфиниширование, точность формы, технологическая система.

Запропонована кінематична схема обробки підшипникових шийок валів коливальними брусками із двостороннім охопленням оброблюваної поверхні валу та жорстким кінематичним зв'язком між брусками та притисканням брусків до виробу із заданою силою через гальмівні ланки.

Ключові слова: суперфінішування, точність форми, технологічна система.

The kinematic scheme for processing by fluctuating whetstones which have bilateral coverage of a processed surface of a shaft and rigid kinematic communication between whetstones and a clip of whetstones to a product with a set force through being braked links is offered.

Keywords: superfinishing, form accuracy, technological system.

На химических предприятиях Украины серная кислота в больших объёмах производится на агрегатах центробежного типа Э1700-11-2М [1]. Одной из основных деталей центробежного нагнетателя является вал. Конструкция вала имеет поверхности, которые значительно влияют на надёжность и долговечность агрегата. К таким поверхностям относятся подшипниковые шейки. По требованиям чертежа точность геометрической формы поверхности шейки вала (некруглость и радиальное биение) не должна превышать 0,01 мм, а шероховатость поверхности $R_a = 0,32$ мкм.

Анализ отделочного этапа обработки этих поверхностей на предприятии-изготовителе показал, что после операции суперфиниширования более 42% поверхностей шеек имеют не выведенную погрешность формы в поперечном сечении, дефекты в виде отдельных царапин, задиоров. Это отрицательно сказывается на работе изделия, снижая его надёжность и долговечность. Устранить недостаток можно, разработав новые кинематические условия для операции суперфиниширования.

Исследования [2-5] показали, что устранение исходной погрешности формы шейки вала зависит от режущей способности брусков и жёсткости технологической системы (ТС). В производственных условиях широко применяются две схемы обработки колеблющимися брусками (рис. 1 и 2).

По первой схеме (рис. 1) брусочки расположены с одной стороны шейки вала и прижимаются к обрабатываемой поверхности непосредственно пневматическим или гидравлическим цилиндром, жёстко закреплённым на станке, либо усилие передаётся на брусок через упругий элемент (например, пружину), снижающий жёсткость ТС. Схема позволяет снизить огранку, овальность, волнистость до 10...15 мкм, а некруглость поверхности – до 10 мкм.

Вторая схема (рис. 2) предусматривает прижим абразивных брусков с двух сторон. Брусочки прижимаются к обрабатываемой поверхности детали под действием механизма радиальной подачи, размещённого в суперфинишной головке, которая произвольно устанавливается по оси обрабатываемой шейки вала. Интенсивность устранения овальности по второй

схеме выше, но, радиальное биение обрабатываемой шейки относительно оси вращения не снижается.

Исследования [2, 4] показали, что огранка и волнистость (1,5...3 мкм) устраняется за счёт размеров брусков. Если рабочая поверхность бруска превышает длину волны в поперечном сечении обрабатываемой поверхности детали, то устранение таких погрешностей имеет одинаковую интенсивность для всех схем суперфиниширования и не зависит от жёсткости ТС.

Рассмотрим схемы (рис. 1 и 2) обработки колеблющимися абразивными брусками валов на центровом станке, не принимая во внимание погрешности центров станка и центровых отверстий обрабатываемых валов. Влияние допуска круглости центров станка и центровых отверстий на исправление исходной погрешности обрабатываемых деталей ранее определено экспериментально [2]. Установлено [4], что основной причиной уменьшения некруглости цилиндрических поверхностей деталей при обработке абразивными брусками, является переменное удельное давление брусков на обрабатываемую поверхность, вызываемое этой некруглостью. Из рис. 1

видно, что при повороте вала на угол φ , в момент контакта бруска с поверхностью, выступающей за пределы вписанной окружности, вследствие упругого перемещения элементов ТС, вызванного колебанием припуска, возрастает усилие прижима бруска.

Исследования [4] позволили определить время обработки τ , за которое устраняется исходная погрешность формы цилиндрической поверхности до требуемой величины:

$$\tau = \sqrt[4]{\frac{n \cdot F \cdot p_0 \cdot \ln \frac{\Delta R_n}{\Delta R_k}}{\gamma \cdot K}} \quad (1)$$

где F – площадь рабочей поверхности бруска, см²; n – количество брусков; p_0 – удельное давление брусков, кг/см²; γ – жёсткость ТС, кг мкм; K и a – коэффициенты, полученные экспериментальным путём; ΔR_n – исходная (начальная) некруглость поверхности шейки вала, мкм; ΔR_k – требуемая (конечная) некруглость поверхности шейки вала, мкм.

При обработке валов колеблющимися брусками (рис. 2) жёсткость ТС можно принять равной жёсткости суперфинишной головки с брусками, т. е. $\gamma = \gamma_{CF}$. Жёсткость ТС при обработке с упругим прижимом брусков к обрабатываемой поверхности можно считать равной жёсткости пружины, используемой для прижима брусков, т. е. $\gamma = \gamma_{ПР}$. Для обработки были выбраны алмазные и абразивные бруски марок АСМ20/100/М5; АСМ20/200/ М5; 24АМ28С2К6 ГОСТ 2424-88 [10]. Комплект состоял из двух брусков: алмазных с размерами алмазного слоя 30×8×2 мм и абразивных 40×40×98 мм. Суммарная ширина бруска H_b принималась от 0,15 до 0,35 длины окружности наибольшей обрабатываемой поверхности $\varnothing 125(-0,20; -0,24)$ мм и рассчитывалась по формуле

$$H_b = (0,15 \dots 0,35) \cdot C = \\ = (0,15 \dots 0,35) \cdot 392,5 \approx (59 \dots 138) \text{ мм}, \quad (2)$$

где $C = \pi D = 3,14 \cdot 125 = 392,5$ мм – длина окружности; $D = 125$ мм – наибольший диаметр обрабатываемой поверхности.

Принимаем ширину бруска 40 мм, а так как суммарная шири-

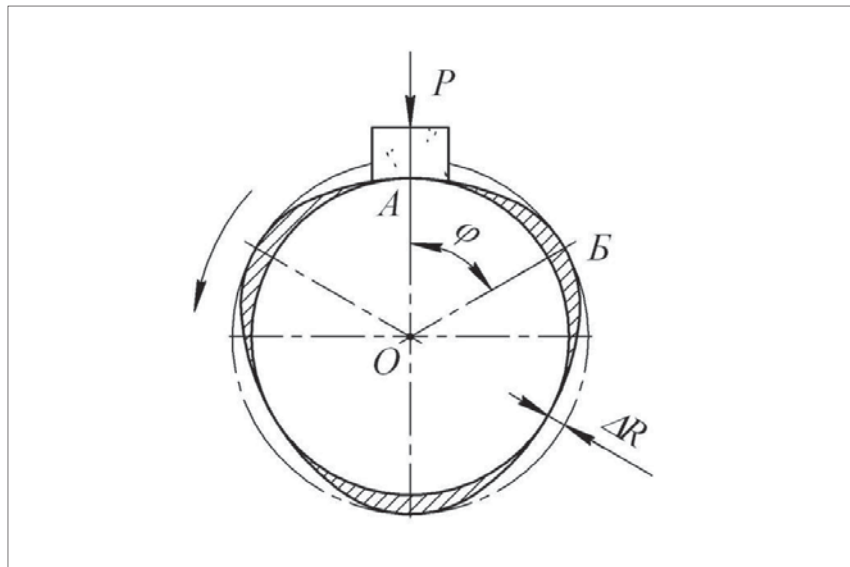


Рис. 1. Схема обработки с односторонним прижимом абразивных брусков

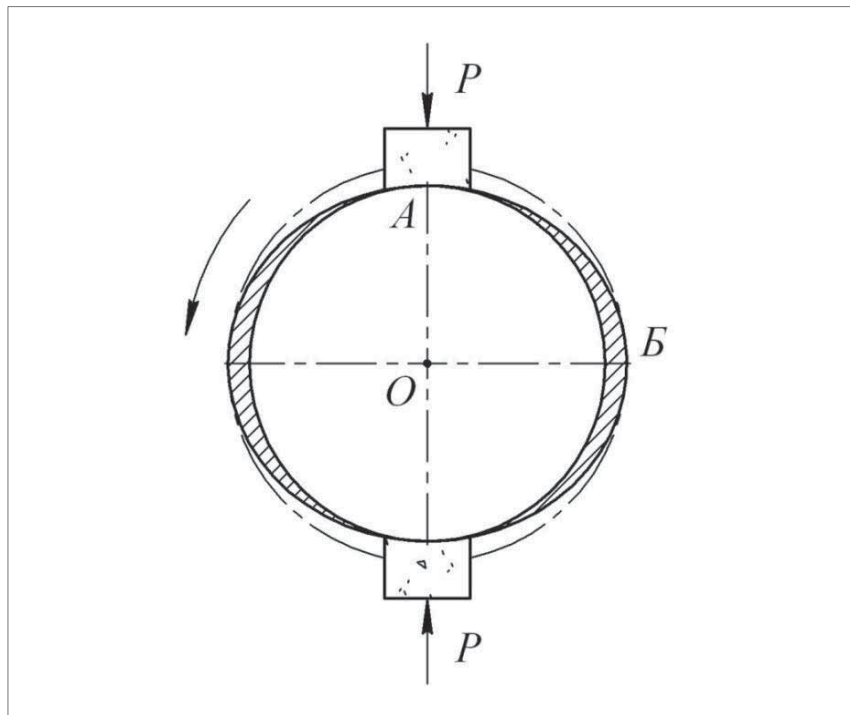


Рис. 2. Схема обработки с двухсторонним прижимом абразивных брусков

на двух брусков составит 80 мм, то это удовлетворяет рекомендуемому диапазону.

Обрабатывалась подшипниковая шейка вала $\varnothing 125(-0,20; -0,24)$ мм и длиной 110 мм. Материал вала – сталь 45 ГОСТ 1050-88. Твёрдость шейки вала HRC₃₀...35. Обработка велась на модернизированном станке модели 3872 [11, 12]. Исходная шероховатость поверхно-

сти обеспечивалась предварительной обработкой способом двойной осцилляции брусков и составила диапазон $R_a = (0,63 \dots 1,25)$ мкм [10, 11].

Режимы суперфиниширования: скорость заготовки $V_g = 29,5$ м/мин; частота вращения заготовки $n = 75$ об/мин; число осевых колебаний головки $n_{ок} = 420$ дв. ход/мин; амплитуда колебаний $h = 3$ мм; уси-

лие прижима брусков $P_0=19,6$ кг; СОЖ – эмульсол НГА-205 (масляный раствор сульфоната натрия, масло марки АС-6,5 и пассивирующие добавки).

Полученные экспериментальные зависимости съёма металла от времени обработки представлены на рис. 3. Построив эти зависимости в логарифмических координатах и обработав их математически, получим эмпирические формулы, действительные в диапазоне времени 0...60 с:

- для алмазных брусков АСМ20, 100%, М5 $Q = 0,36 \cdot \tau^{0,66}$;
 - для алмазных брусков АСМ20, 200%, М5 $Q = 0,4 \cdot \tau^{0,66}$;
 - для абразивных брусков 24АМ28С2К6 $Q = 0,2 \cdot \tau^{0,95}$,
- где Q – съём металла на диаметр, мкм.

Примем коэффициент жёсткости ТС $\gamma_{СТ} = 1500$ кг/мм (ориентировочное значение жёсткости круглошлифовальных станков). Вычислим время, необходимое для устранения исходной некруглости до требуемой чертежом по формуле (1):

$$\tau = 0,66 \sqrt{\frac{19,6}{1,5 \cdot 0,18} \cdot \ln \frac{12}{10}} \approx 51 \text{ с.}$$

В случае применения абразивных брусков 24АМ28С2К6 время составит:

$$\tau = 0,95 \sqrt{\frac{19,6}{1,5 \cdot 0,1} \cdot \ln \frac{12}{10}} \approx 29 \text{ с.}$$

На рис. 4 приведены зависимости $\tau=f_2(\Delta R_H/\Delta R_K)$, которые рассчитывались по формуле (1) для алмазных АСМ20/100М5 (1-3) и абразивных брусков 24АМ28С2К6 (4).

Полученные значения времени соответствуют различным значениям жёсткости ТС, которая изменялась в диапазоне 500-1500 кг/мм. Как видно из рис. 5, увеличение жёсткости ТС с 500 до 1500 кг/мм при обработке алмазными брусками позволяет за 60 секунд повысить интенсивность исправления круглости в (1,07...1,21) раз. Применение абразивных брусков, обладающих более высокой режущей способностью по сравнению с алмазными брусками, позволяет повысить исправление исходной круглости в 1,42 раза.

Уменьшение круглости с увеличением времени обработки замедляется. Это объясняется как уменьшением скорости съёма металла, так и снижением круглости обрабатываемой заготовки, а, следовательно, повышением удельного давления, расходуемого на устранение круглости.

Преобразуем формулу (2) и получим:

$$\Delta R_K = \Delta R_H \cdot e^{-\frac{\tau \cdot \gamma_k}{n \cdot F p_0}}. \quad (3)$$

В свою очередь, преобразовав формулу (3), получим:

$$\Delta p = \frac{\gamma}{n \cdot F} \Delta R_H \cdot e^{-\frac{\tau \cdot \gamma_k}{n \cdot F p_0}}, \quad (4)$$

где Δp – увеличение удельного давления брусков, кг/см².

На рис. 5 представлены зависимости $\Delta p = f_3(\tau)$ и $\Delta R = f_4(\tau)$ для алмазных брусков АСМ20/100/М5 (№1 и №2) и абразивных брусков 24АМ28С2К6 (№3 и №4), полученные расчётным путём по формулам (3) и (4) при $\gamma = 1500$ кг/мм и $\Delta R_H = 12$ мкм.

Из рис. 5 видно, что после 60 с работы алмазными брусками приращение удельного давления снижается с 3,75 до 3,1 кг/см², а при работе абразивными брусками – с 1,5 до 1,0 кг/см². Помимо устранения исходной погрешности, необходимо удалять исходную ше-

роховатость и дефектный слой, образующийся в результате предыдущей обработки. Таким образом, удельное давление брусков выбирается с таким расчётом, чтобы за минимально короткое время в направлении наименьшего радиуса обрабатываемой заготовки был снят требуемый припуск. Для этого должно быть выдержано условие:

$$p = \Delta p \leq p_{доп}, \quad (5)$$

где p – удельное давление брусков в направлении наименьшего радиуса обрабатываемой заготовки, кг/см²; $p_{доп}$ – допускаемое (максимальное) давление для брусков заданной характеристики, кг/см².

Выводы

С увеличением жёсткости ТС интенсивность исправления начальной (исходной) круглости шеек валов при обработке суперфинишированием возрастает. Причём интенсивность исправления погрешности при обработке абразивными брусками выше, чем при обработке алмазными брусками.

Исправление круглости, радиального биения целесообразно выполнять суперфинишным устройством охватывающего типа, а абразивные брусочки в направлении радиальной подачи необходимо жёстко соединить с концом штока гидравлического цилиндра подачи.

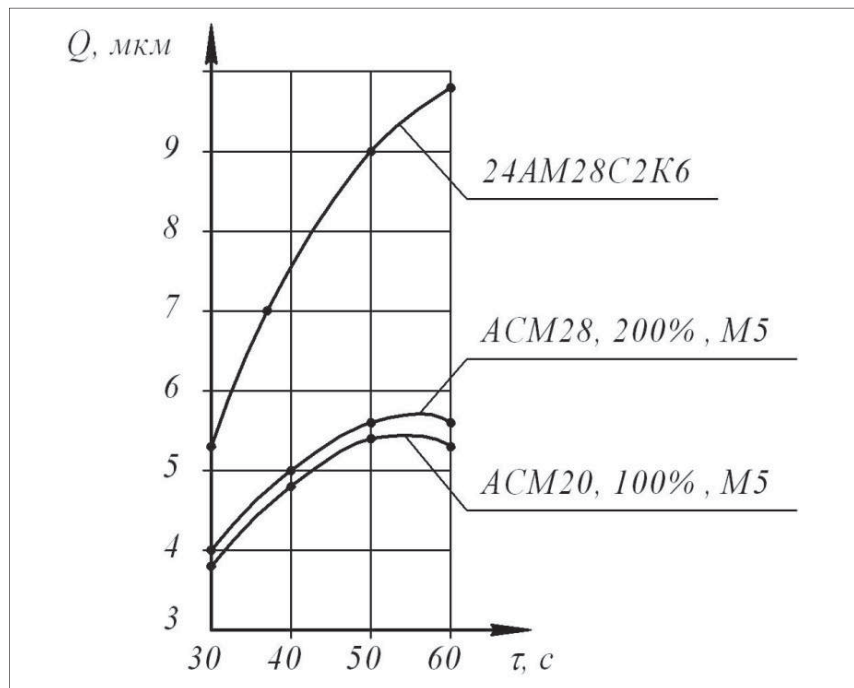


Рис. 3. Зависимость съёма металла от времени обработки

Для исправления начальной (исходной) круглости и радиального биения подшипниковых шеек валов обработку следует вести абразивными брусками, имеющими высокие режущие свойства, которые сохраняются при изменении удельных давлений в широком диапазоне.

Список литературы:

1. Нагнетатель центробежный Э 1700-11-2М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 398Н-Т / Сумы, 1990. – 58 с.

2. Акилов А. И. Исследование нестационарных режимов процесса суперфинишной обработки шеек коленчатых валов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / А. И. Акилов. – Челябинск, 1979. – 17 с.

3. Гришкевич А. В. Исследование размерной суперфинишной обработки деталей машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / А. В. Гришкевич. – Харьков, 1975. – 23 с.

4. Фрагин И. Е. Новое в хонинговании / И. Е. Фрагин. – М.: Машиностроение, 1980. – 96 с.

5. Яцерицын П. И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов / П. И. Яцерицын, А. Г. Зайцева, А. И. Барботько – Минск: Наука и техника, 1976. – 328 с.

6. Кремень З. И. Хонингование и суперфиниширование деталей / З.И.Кремень, И.Х.Стратиевский. – Л.: Машиностроение, 1988. – 137 с.

7. Савчук В. И. Суперфиниширование с радиально-колеблющимися абразивными брусками / В. И. Савчук, А. В. Гришкевич, В. Л. Горбенко. // Вестник машиностроения. – 1979. – № 8. – С. 47-49.

8. Гришкевич А. В. Способ отделочной обработки стальных закалённых деталей / А. В. Гришкевич, В. А. Капуста, О. А. Топоров. // Вестник машиностроения. – 1973. – № 9. – С. 55 – 57.

9. Волков І. В. Підвищення продуктивності процесу вібраційної обробки деталей на оздоблювальних і зміцнюючих операціях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / І. В. Волков. – Маріуполь, 2008. – 20 с.

10. Савчук В. И. Исследование технологических особенностей от-

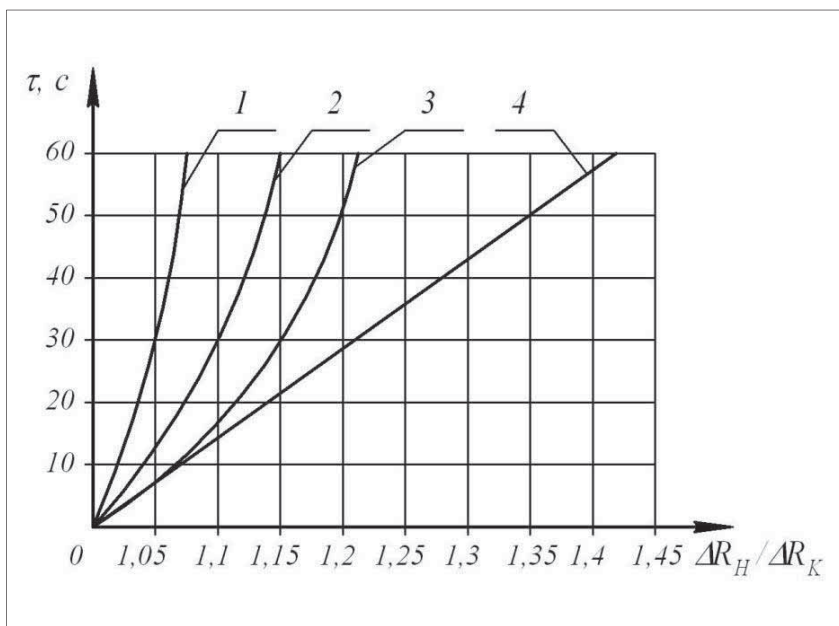


Рис. 4. Время обработки, необходимое для устранения заданного биения и погрешности формы: 1 – $g = 500 \text{ кг/мм}$; 2 – $g = 1000 \text{ кг/мм}$; 3 и 4 – $g = 1500 \text{ кг/мм}$

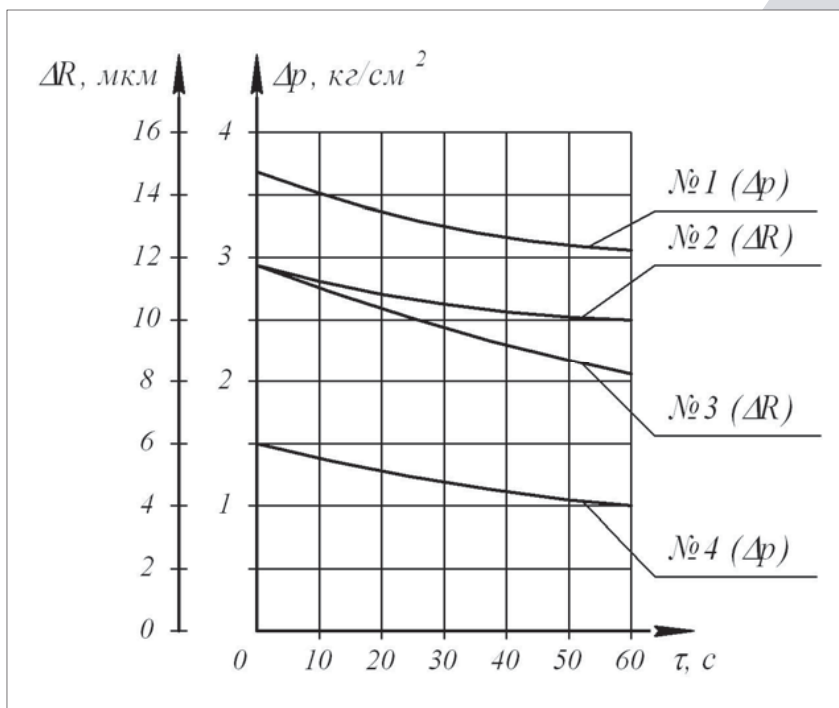


Рис. 5. Зависимость увеличения удельного давления Δp и уменьшение погрешности формы ΔR от времени обработки τ

делочной обработки валов способом двойной осцилляции брусков: дис. ... кандидата техн. наук: 05.02.08 / В. И. Савчук. – Челябинск, 1981. – 179 с.

11. Савчук В. И. Методика расчёта оптимальных характеристик суперфинишных устройств

/ В.И. Савчук // Вісник СумДУ. – 2000. – № 19. – С. 135 – 141.

12. Патент №81162 Україна, МПК В24В 35 / 00. Суперфінішна голівка / В. І. Савчук, М. О. Телетов, В. О. Іванов (Україна). – №а200512383; заявл. 22.12.2005; опубл. 10.12.2007, бюл. №9.