



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-55-60>  
УДК 669

Поступила 24.01.2022  
Received 24.01.2022

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНОГО СТАНКА ДЛЯ РЕМОНТА КОРПУСА КЛЕТЫ ТРУБОПРОКАТНОГО РЕДУКЦИОННО-РАСТЯЖНОГО СТАНА

О. Н. ФИЛОНЧИК, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: [secr.glm@bmz.gomel.by](mailto:secr.glm@bmz.gomel.by), тел. + 375-2334-55563

*В статье определено оптимальное оборудование, необходимое для ремонта корпуса клетки трубопрокатного редукционно-растяжного стана. Корпус клетки стана, изготовленный из конструкционной легированной стали 40Х, в процессе эксплуатации подвергается износу посадочных мест под подшипники. Восстановление корпуса клетки выполняется при помощи наплавки изношенных поверхностей детали с последующей механической обработкой до размеров, указанных в конструкторской документации. В процессе наплавки среднеуглеродистых сталей образуются карбиды, что приводит к резкому повышению твердости в зоне термического влияния, что влияет на стойкость твердосплавных пластин и точность обработки.*

*При выборе оборудования для ремонта корпуса клетки необходимо учитывать геометрическую форму, размеры, массу и материал детали. При использовании горизонтально-расточного станка с наличием горизонтального шпинделя, совершающего вращательно-поступательное движение осевой подачи, необходимо учитывать жесткость шпинделя, которая влияет на точность обработки, особенно при восстановлении глубоких отверстий после наплавки упрочняющими наплавочными материалами. Изгиб шпинделя может вызвать вибрацию и биеение, которые повлияют на качество выполняемой работы. Повышение жесткости обработки можно добиться при помощи использования борштанги или за счет увеличения диаметра шпинделя. Так как в ремонтируемом корпусе необходимо восстановить глубокие глухие отверстия, применение борштанги невозможно. В процессе работы определен оптимальный диаметр шпинделя горизонтально – расточного станка с учетом конструктивной особенности обрабатываемой детали.*

**Ключевые слова.** Ремонт, износ, технология ремонта, жесткость шпинделя, шпиндель.

**Для цитирования.** Филончик, О. Н. Определение оптимального горизонтально-расточного станка для ремонта корпуса клетки трубопрокатного редукционно-растяжного стана / О. Н. Филончик // Литье и металлургия. 2022. № 1. С. 55–60. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-55-60>.

## DETERMINATION OF THE OPTIMAL HORIZONTAL BORING MILL FOR THE REPAIR OF THE PIPE-ROLLING REDUCTION-STRETCHING MILL'S BODY STANDS

O. N. FILONCHIK, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: [secr.glm@bmz.gomel.by](mailto:secr.glm@bmz.gomel.by), Tel. + 375-2334-55563

*The article defines the optimal equipment necessary for the repair of the body stands of a pipe-rolling reduction-stretching mill. The body stand of the mill crate, made of 40X structural alloy steel, undergoes wear of the bearing seats during operation. Body stands restoration is carried out by surfacing the worn surfaces of the part with subsequent machining to the dimensions specified in the design documentation. In the process of surfacing medium-carbon steels, carbides are formed, which leads to a sharp increase in hardness in the zone of thermal influence, which affects the durability of carbide plates and processing accuracy.*

*It is necessary to consider the geometric shape, dimensions, weight and material of the part while choosing equipment for repairing the body stand. Using a horizontal boring machine with a horizontal spindle performing rotational and translational movement of the axial feed, it is necessary to take into account the rigidity of the spindle, which affects the accuracy of processing, especially when restoring deep holes after surfacing with hardening surfacing materials. Bending the spindle can cause vibration and beating, which will affect the quality of the work performed. An increase in the rigidity of the machining can be achieved by using a drilling rod or by increasing the diameter of the spindle. Since it is necessary to restore deep blind holes in the repaired housing, it is impossible to use a drilling rod. In the process of work, the optimal diameter of the spindle of the horizontal boring machine was determined, taking into account the design features of the work piece.*

**Keywords.** Repair, wear, repair technology, spindle stiffness, spindle.

**For citation.** Filonchik O. N. Determination of the optimal horizontal boring mill for the repair of the pipe-rolling reduction-stretching mill's body stands. Foundry production and metallurgy, 2022, no. 1, pp. 55–60. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-55-60>.

Износ деталей возникает в результате эксплуатации и воздействия таких факторов, как давление, трение и т.д. Восстановление изношенных поверхностей детали позволяет не только экономить средства, а это около 40–90 % стоимости от новой детали, но и снизить загрязнение окружающей среды.

Любое восстановление детали/узла требует высокой квалификации специалистов, так как в данном процессе могут применяться различные способы ремонта: сварка и наплавка, напыление, гальваническое и химическое покрытие, механическая обработка и т.д. При этом должны соблюдаться следующие условия:

- Ремонт должен обеспечить восстановление детали до первоначальных размеров.
- Деталь не должна снижать показатели прочности и износостойкости.
- Наносимый слой должен иметь хорошую адгезию с основным материалом.
- Механическая обработка должна быть простой и не трудоемкой.
- Материалы для восстановления должны быть не дорогими и не дефицитными.
- Экономичность способа.
- Экологичность восстановления.

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» – это уникальное предприятие металлургической отрасли Беларуси, относящееся к разряду современных минизаводов европейского уровня, который объединил в себе несколько технологических цепочек производства – сталеплавильное, прокатное, трубное и метизное. При производстве продукции используется современнейшее оборудование, которое в процессе эксплуатации подвергается износу и последующему ремонту.

В практической деятельности инженера-технолога большое значение имеет выбор средств технического оснащения и, в частности, основного технологического оборудования. Известно, что выбор оборудования во многом предопределяет построение технологического процесса и, как следствие, качество продукции, производительность и эффективность производства.

Рассмотрим пример ремонта корпуса клетки 330 трубопрокатного редуционно-растяжного стана (РРС). Клеть установлена на редуционно-растяжном стане и служит для формирования окончательного диаметра трубы, а также толщины стенки трубы. Корпус клетки состоит из двух полукорпусов (рис. 1), в которых по требованию конструкторской документации необходимо восстановить посадочные места под подшипники.



Рис. 1. Полу корпус клетки 330 трубопрокатного редуционно-растяжного стана

Согласно требованию документации (ремонтного чертежа), ремонт корпуса необходимо выполнить в два основных этапа:

- 1) расточить изношенную поверхность на глубину 4 мм, наплавить данную поверхность;
- 2) произвести механическую обработку корпуса.

При поэтапном рассмотрении основной трудностью при выполнении наплавочной операции является образование в месте наплавки внутренних напряжений, термических деформаций, которые могут влиять на окончательную геометрию корпуса. Во избежание возникновения существенных деформаций корпуса необходимо уменьшить высоту наплавки, указанной в чертеже, с 4 до 2 мм, а также выполнять наплавку короткими участками, не допуская нагревы околошовной зоны выше 150 °С. Данную температуру необходимо контролировать пирометром.

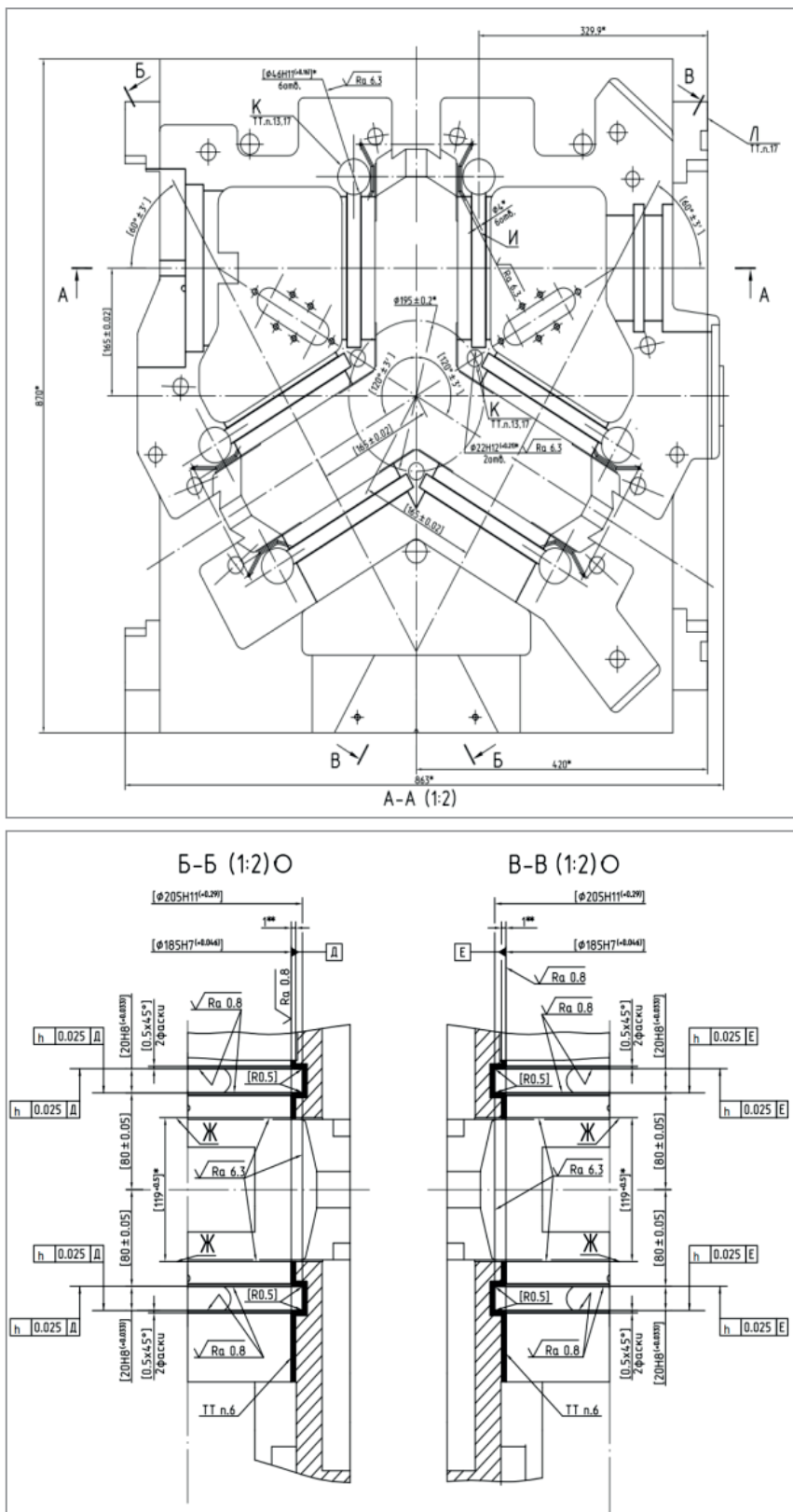


Рис. 2. Ремонтный чертёж

Согласно требованиям чертежа, после наплавки изношенных поверхностей необходимо произвести механическую обработку трех отверстий в размер  $\text{Ø}185\text{H}7$  на глубину 700 мм. После чего восстановить канавки под стопорные кольца в размер  $\text{Ø}205\text{H}11 \times 20\text{H}8$ . Отверстия, в которых соотношение  $L > 3D$  относят к «глубоким отверстиям» и трудности при обработке данных отверстий, учитывая необходимость выдержать точность и шероховатость поверхности, связаны не только с ухудшением отвода стружки, но главным образом с обеспечением жесткости инструмента, которая снижается с ростом

глубины обработки отверстия. По этой причине возникают вибрации, снижающие стойкость инструмента, точность и качество обработки поверхности. Учитывая геометрию детали, выполнять механическую обработку необходимо на горизонтально-расточном станке с поворотным столом, где вылет шпинделя (рабочий ход по оси  $W$ ) должен составлять минимально 700 мм.

Горизонтально-расточные станки – группа металлорежущих станков, предназначенных для обработки заготовок крупных размеров. На станках можно производить растачивание, сверление, фрезерование. Отличительной особенностью расточных станков является наличие горизонтального шпинделя, совершающего вращательно-поступательное движение осевой подачи. В отверстие шпинделя закрепляется режущий инструмент – борштанга с резцами, сверлом, зенкер, фреза концевая или дисковая и т. д.

На предприятии расточку корпуса выполняли на горизонтально-расточном станке с ЧПУ, технические характеристики которого приведены ниже.

Диаметр шпинделя	Скорость вращения шпинделя, об/мин	Мощность главного привода, кВт	Ход шпинделя по оси $W$ , мм
110	6 ~ 2000	20	710

Растачивание отверстия  $\varnothing 185H7(+0,046)$  выполняли за три прохода. Глубина резания для чистовой обработки составила 0,5 мм.

С целью уменьшения вибрации при обработке стали необходимо выбирать резец с главным углом в плане  $\phi$  не менее  $60^\circ$ , а также определить величину минимально допустимой подачи. При чистовом растачивании глубоких отверстий приходится наряду с точностью соблюдать соответствующую чистоту обрабатываемой поверхности. Чистота поверхности тем лучше, чем меньше подача.

Определим минимальное значение подачи, при которой можно работать без вибраций:

$$S_{\min} = \frac{L^{4,35} \cdot V \cdot t^{1,1}}{12,5 D^7} = \frac{700^{4,35} \cdot 80 \cdot 0,5^{1,1}}{12,5 \cdot 110^7} = 0,036 \text{ мм/об,}$$

где  $L$  – общая длина вылета инструмента, мм;  $V$  – скорость резания, м/мин;  $t$  – глубина резания, мм;  $D$  – диаметр шпинделя, мм.

Определяем частоту вращения шпинделя:

$$n = \frac{V \cdot 1000}{d \pi} = \frac{80 \cdot 1000}{185 \cdot 3,14} = 137,7 \text{ об/мин,}$$

где  $V$  – скорость резания, м/мин;  $d$  – диаметр отверстия обработки, мм.

Для растачивания отверстия приняты режимы согласно справочным данным производителя твердосплавных пластин: скорость резания  $V = 80$  м/мин, обороты шпинделя  $n = 140$  об/мин, подача  $S = 0,1$  мм/об.

После выполнения расточной операции на станке измеряли параметры точности обработки согласно требованиям конструкторской документации (см. таблицу).

Параметры измерения	Требование по чертежу	Измерения после механической обработки
Шероховатость	0,8	0,8÷1,6
Диаметр отверстия, мм	$\varnothing 185 (0; +0,046)$	$\varnothing 185 (-0,03; +0,06)$
Биение, мкм	0,025	0,02÷0,045

Как видно из таблицы, после выполнения расточной операции произошло отклонение от требований конструкторской документации. Отклонение произошло из-за большого вылета шпинделя и обработки поверхности после наплавки.

С целью возможности ремонта корпуса в условиях предприятия была поставлена задача о подборе необходимого оборудования. В основном производители металлообрабатывающих станков выпускают горизонтально-расточные станки с диаметром шпинделя 110–130 мм.

В процессе поиска станка с диаметром шпинделя более 130 мм рассмотрен станок с ЧПУ, укомплектованный поворотным столом, а также сменной фрезерной и расточной головкой (рис. 3), которая устанавливается на планшайбу. Технические характеристики данного станка приведены ниже.

Скорость вращения шпинделя, об/мин	Мощность, кВт	Диаметр расточной головки, мм	Глубина обработки, мм
15 ~ 3000	15	165	700

Отличительной особенностью данного станка является то, что он оснащен расточной головкой диаметром 165, а также то, что обработка корпуса может выполняться при помощи подачи стола.

Определим жесткость шпинделя двух станков.



Рис. 3. Расточная головка станка

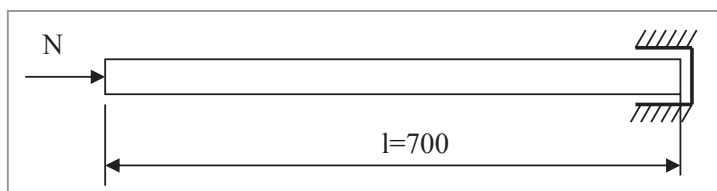


Рис. 4. Схема действия осевого усилия на вал шпинделя

Рассмотрим участок шпинделя длиной  $l=700$  мм, равный глубине обработки, и определим силы, действующие на шпиндель. Наибольшее осевое усилие при подаче столом равно  $N=10780$  Н (рис. 4).

Площадь сечения для вариантов шпинделя диаметрами  $d_1=110$  мм и  $d_2=165$  мм равна:

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,110^2}{4} = 0,0095 \text{ м}^2,$$

$$A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,165^2}{4} = 0,0214 \text{ м}^2.$$

Нормальные напряжения по длине вала шпинделя постоянны и равны по величине:

$$\sigma_1 = \frac{N}{A_1} = \frac{19600}{0,0095} = 2,06 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,06 \text{ МПа},$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A_2} = \frac{19600}{0,0214} = 9,16 \cdot 10^5 \text{ Па} = 0,916 \text{ МПа}.$$

Допускаемое напряжение материала для стали 40Х  $[\sigma]=160$  МПа.

Поскольку  $\sigma_1 < [\sigma]$  и  $\sigma_2 < [\sigma]$ , условие прочности выполняется для двух диаметров шпинделя. При этом запас прочности шпинделя с большим диаметром  $d_2=165$  мм выше, чем у шпинделя диаметром  $d_1=110$  мм, так как  $\sigma_2 < \sigma_1$ .

Наибольшее тангенциальное усилие резания при растачивании резцом, закрепленным в выдвижном шпинделе, равно  $F_T=7840$  Н. Схема действия тангенциального усилия показана на рис. 5.

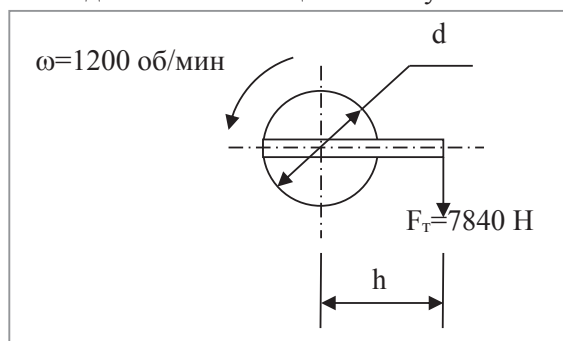


Рис. 5. Схема действия тангенциального усилия на вал шпинделя

Принимая расстояние от оси вала до вершины резца  $h=92,5$  мм, вычисляем рабочий момент, действующий на вал:

$$M_T = F_T h = 7840 \cdot 0,0925 = 725,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Рабочий момент не превышает наибольший допустимый крутящий момент на выдвижном шпинделе, равный  $M=1765$  Н·м.

Передаваемая при этом мощность при скорости вращения шпинделя  $\omega=1200$  об/мин равна:

$$P=M_T \cdot \omega = 725,2 \cdot 1200/60 = 14504 \text{ Вт.}$$

Находим момент сопротивления  $W_P$  и полярный момент инерции  $J_P$  круглого сечения для двух диаметров вала шпинделя:

$$W_{P1} = \frac{\pi d_1^3}{16} = \frac{\pi \cdot 0,110^3}{16} = 2,61 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3,$$

$$W_{P2} = \frac{\pi d_2^3}{16} = \frac{\pi \cdot 0,165^3}{16} = 8,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3,$$

$$J_{P1} = \frac{\pi d_1^4}{32} = \frac{\pi \cdot 0,110^4}{32} = 1,44 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4,$$

$$J_{P2} = \frac{\pi d_2^4}{32} = \frac{\pi \cdot 0,165^4}{32} = 7,28 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Тогда касательные напряжения по длине вала шпинделя постоянны и равны по величине:

$$\tau_1 = \frac{M}{W_{P1}} = \frac{725,2}{2,61 \cdot 10^{-4}} = 2,77 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,77 \text{ МПа},$$

$$\tau_2 = \frac{M}{W_{P2}} = \frac{725,2}{8,82 \cdot 10^{-4}} = 8,22 \cdot 10^5 \text{ Па} = 0,822 \text{ МПа}.$$

Полагая допустимое касательное напряжение для стали  $[\tau]=30$  МПа, видим, что условие прочности вала при вращении выполняется  $\tau_1 < [\tau]$  и  $\tau_2 < [\tau]$ .

С учетом модуля сдвига для стали  $G=0,78 \cdot 10^{11}$  Па вычисляем относительный угол закручивания вала шпинделя для двух диаметров:

$$\varphi_1 = \frac{M_T}{GJ_{P1}} = \frac{725,2}{0,78 \cdot 10^{11} \cdot 1,44 \cdot 10^{-5}} = 6,46 \cdot 10^{-4} \text{ рад/м},$$

$$\varphi_2 = \frac{M_T}{GJ_{P2}} = \frac{725,2}{0,78 \cdot 10^{11} \cdot 7,28 \cdot 10^{-5}} = 1,28 \cdot 10^{-4} \text{ рад/м}.$$

Принимая предельное значение относительного угла закручивания для стали  $[\varphi]=0,02$  рад/м, получаем выполнение условия жесткости при вращении шпинделя:

$$\varphi_1 < [\varphi] \text{ и } \varphi_2 < [\varphi].$$

Согласно расчету, получаем  $\varphi_2 < \varphi_1$ , следовательно, жесткость вала с большим диаметром  $d_2=165$  мм выше, чем у вала диаметром  $d_1=110$  мм, что обеспечит более точную обработку детали.

### Выводы

Качество восстановления деталей после наплавки во многом зависит от материала детали и оборудования, используемого при последующей механической обработке. Вибрации, биение в зоне обработки влияют на точность выполненных работ. Анализируя полученные результаты после расточной операции на горизонтально-расточном станке, а также расчет шпинделя на действие сил, можно отметить, что увеличение диаметра шпинделя, а следовательно жесткости инструмента, позволит более точно выполнить ремонт корпуса клетки.