

УДК 623.06.02

**Анализ факторов влияющих на точность расположения отверстий,  
обрабатываемых на агрегатно-расточных станках**

*Кригер А.В., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации»*

*Научный руководитель: Колесников Л.А., к.т.н., доцент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)*

Распространенная схема обработки взаимосвязанных отверстий на агрегатно-расточных станках, без кондукторных втулок, инструментов, консольно закрепленным и жестко связанным со шпинделем, показана на рис. 1.

Механизм образования погрешностей расположения отверстий, обрабатываемых на агрегатно-расточных станках (рис.1), представляется весьма сложным, зависящим от многих факторов.

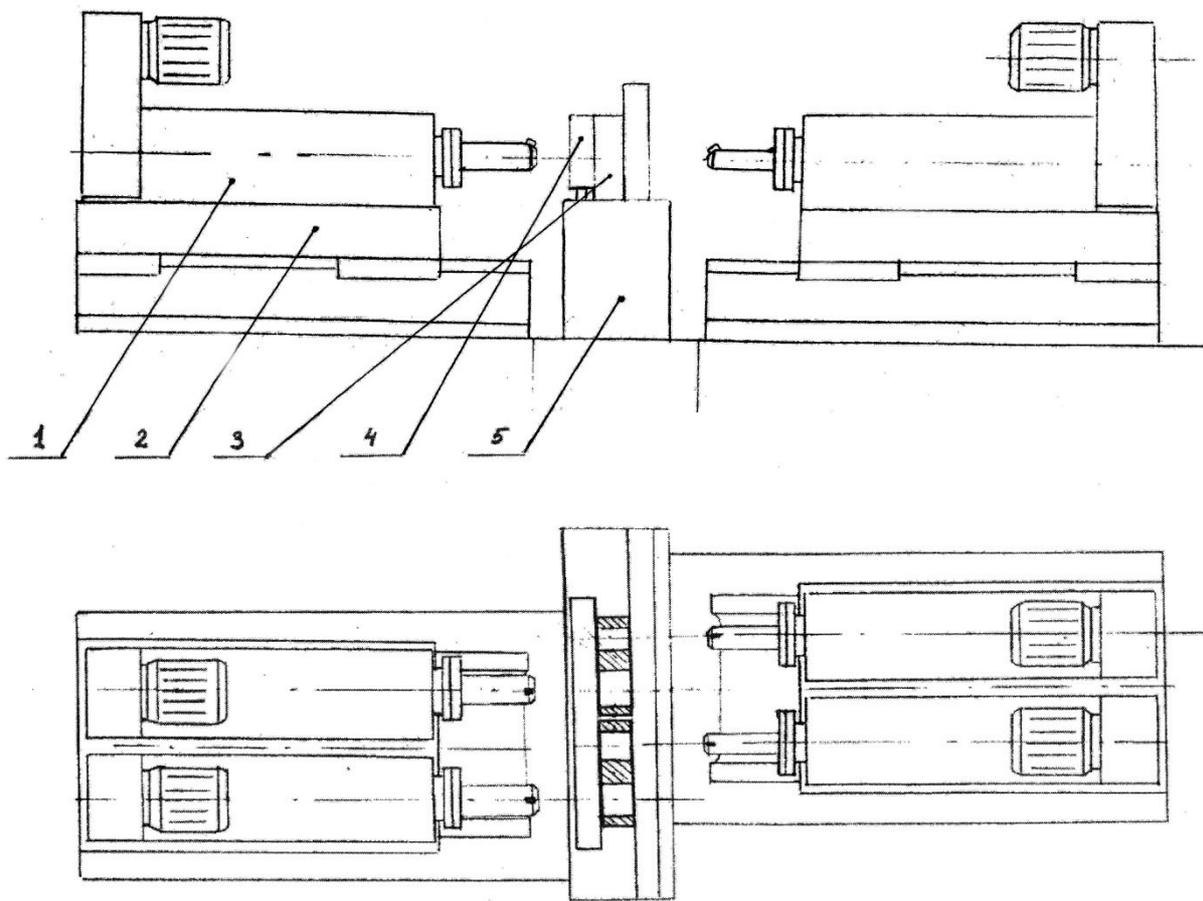


Рис. 1. Схема обработки деталей на агрегатно-расточном станке:

1 – Шпиндельный узел; 2 – стол рабочей подачи; 3 – приспособление; 4 – обрабатываемая деталь; 5 – основание.

Все факторы, влияющие на величину смещения осей взаимосвязанных отверстий, подразделяются на две основные группы по месту их возникновения:

1. Конструктивно-технологические параметры, закладываемые при проектировании оборудования.
2. Производственные факторы, действия которых проявляются при эксплуатации оборудования.

Непосредственными причинами погрешностей расположения взаимосвязанных отверстий при обработке инструментом, жестко связанным со шпинделем, на агрегатно-расточных станках являются: геометрические погрешности оборудования и оснастки, погрешности установки заготовки, погрешности от упругих отжатий технологической системы, погрешности от тепловых деформаций и др.

Однако эти погрешности сами вызываются исходными погрешностями параметров, обусловленных конструктивно-технологическими и производственными факторами.

Погрешности расположения оси отверстия, обработанного инструментом, консольно закрепленным и жестко связанным со шпинделем, без направления в кондукторные втулки, на агрегатно-расточном станке, можно выразить в общем виде следующей функциональной зависимостью:

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Delta_r, \Delta_y),$$

Где:  $\Delta_r$  - геометрическое смещение оси инструмента;

$\Delta_y$  - упругие отжатия технологической системы;

Каждая из стоящих в скобках величин для данного конкретного случая определяется условиями построения технологической операции.

Ниже приводится анализ факторов, вызывающих появление каждой из этих величин.

### Геометрическое смещение оси инструмента

Основной причинной геометрического смещения оси инструмента при схеме обработки, показанной на рис. 1, являются геометрические погрешности станка, которые характеризуются погрешностями взаимного расположения неподвижно закрепленных и перемещаемых узлов станка. Эти погрешности могут быть следствием неправильной обработки основных деталей станка, неточностей сборки, а также износа подвижных частей.

Геометрическое смещение оси инструмента агрегатно-расточного станка (геометрическое смещения осей вращения шпинделей), показана на рис.2, результат смещения осей шпинделей от номинального положения -  $\Delta_{ош}$ , непрямолинейности перемещения силового агрегата -  $\alpha_{мл}$ , непараллельности осей шпинделей направлении рабочей подачи -  $\alpha_{нош}$ , непараллельности осей шпинделей между собой -  $\alpha_{вз}$ .

Смещение осей шпинделей от номинального положения -  $\Delta_{ош}$  происходит в результате следующих погрешностей: погрешность расположения направляющей станины, зазор между направляющими станины и силового агрегата, погрешность расположения осей отверстий под передние опоры шпинделей на корпусе силового агрегата, эксцентриситет опор шпинделей, биение опор шпинделей.

Погрешности  $\alpha_{мл}$ ,  $\alpha_{нош}$ ,  $\alpha_{вз}$  также вызываются погрешностями изготовления деталей и сборки узлов агрегатно-расточного станка.

Допустимые геометрические погрешности универсальных станков различного типа регламентируются нормами и точности на их приемку, приведенными в соответствующих ГОСТах. А для агрегатных станков отсутствуют ГОСТы на нормы точности и жесткости.

Конструкторские организации и предприятия – изготовители пользуются нормативами, которые не всегда научно обоснованы и не достаточно полны.

Погрешности от упругих отжатий технологической системы

В процессе обработки отверстия на агрегатно-расточных станках сила резания изменяется по величине и по направлению, в результате неравномерного распределения припуска по сторонам отверстия, нестабильности механических свойств материала заготовки, неравномерности подачи и прогрессирующего затупления инструмента.

Неравномерное распределения припуска по сторонам отверстий вызвано погрешностью предыдущего перехода (смещение оси отверстия относительно установочных баз -  $\alpha_{(i-1)}$ ) геометрическим смещением оси инструмента -  $\Delta_r$ .

Податливость элементов технологической системы –  $W$  также в разных направлениях принимает разные величины.

Нестабильность силы резания и податливости элементов в различных направлениях обработки приводит к неравномерности упругих отжатий технологической системы, которая вызывает смещение оси обрабатываемого отверстия.

При обработке на агрегатно-расточных станках инструментом жестко связанным со шпинделем, упругие отжатия зависят от упругих отжатий вспомогательного инструмента (борштанги) -  $\Delta_{yви}$ , силового агрегата и заготовки.

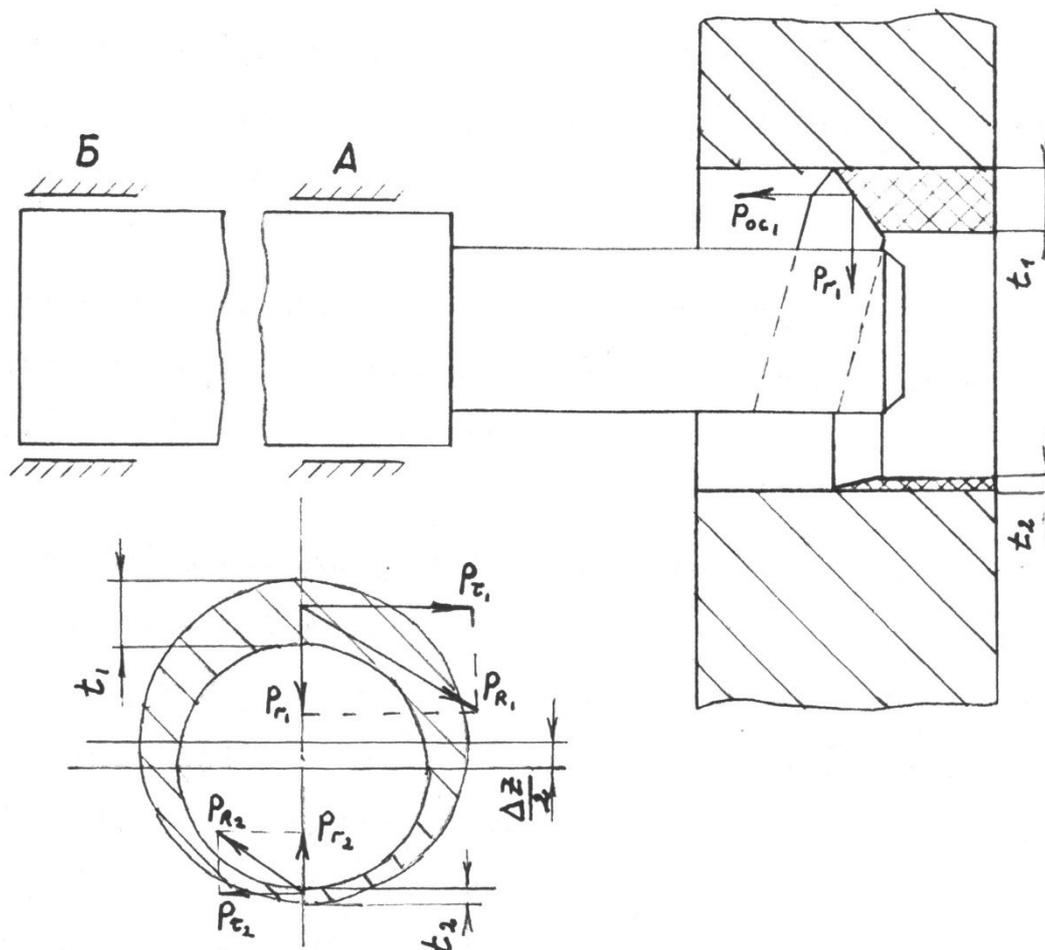


Рис. 2. Схема действия неуравновешенных сил при растачивании отверстий

При растачивании отверстий с неравномерным припуском инструмент работает в условиях поперечно-продольного изгиба от усилия резания, последнее в разных направлениях сечения принимает разную величину.

Величина смещения оси обрабатываемого отверстия зависит от величины неуравновешенных сил  $\Delta P_r$ ,  $\Delta P_\tau$ ,  $\Delta P_{oc}$  и податливости технологической системы. В связи с тем, что влияние силы  $\Delta P_{oc}$  на общее смещение оси отверстия небольшое, то в формуле определения смещения оси отверстия небольшое, то в формуле определения смещения оси обрабатываемого отверстия его влияние учтено коэффициентом  $n$ , величина которого определяется экспериментальным путем.

$$\Delta y = n \frac{y_1 - y_2}{2};$$

где  $\Delta y$  - погрешность от упругих отжатый технологической системы,  $y_1$  и  $y_2$  упругие отжатыя технологической системы в двух противоположных направлениях поперечного сечения.

$$y_1 = P_{R_1} W_1 = W_1 \sqrt{P_{r_1}^2 + P_{\tau_1}^2};$$

$$y_2 = P_{R_2} W_2 = W_2 \sqrt{P_{r_2}^2 + P_{\tau_2}^2};$$

где  $P_{r_1}, P_{r_2}, P_{\tau_1}, P_{\tau_2}$  радиальная и тангенциальная составляющие усилий резания, соответственно, в первом и втором направлениях;

$P_{R_1}, P_{R_2}$  - равнодействующие силы этих составляющих, соответственно;

$W_1, W_2$  - податливость системы, соответственно в первом и втором направлениях.

По теории резания:

$$P_{r_1} = C_1 t_1^{x_1} S_1^{y_1} HB_1^{n_1};$$

$$P_{r_2} = C_2 t_2^{x_2} S_2^{y_2} HB_2^{n_2};$$

соответственно:

$$P_{r_1} = C_3 t_2^{x_1} S_2^{y_1} HB_2^{n_1};$$

$$P_{r_2} = C_4 t_2^{x_2} S_2^{y_2} HB_2^{n_2};$$

где:  $t_1; t_2$  - глубина резания в разных направлениях;

$S_1; S_2$  - подача в разных направлениях;

$HB_1; HB_2$  - твердость материала в разных направлениях;

$C_1, C_2, C_3, C_4$  - коэффициенты, зависящие от условий резания и геометрических параметров инструмента.

Приняв за один оборот инструмента  $S_1 = S_2$ ;  $HB_1 = HB_2$ ;  $C_1 = C_3$ ;  $C_2 = C_4$ ;  $x_1 = x_2 = 1$  и подставляя значения  $y_1$  и  $y_2$  в формуле смещения оси отверстия, получим:

$$\Delta y = n \left( \frac{W_1 t_1 - W_2 t_2}{2} \right) \sqrt{(C_1 S^{y_1} HB^{n_1})^2 - (C_2 S^{y_2} HB^{n_2})^2}$$

Смещение оси отверстие максимальное значение получает при:

$$\Delta y_{\max} = n \left( \frac{W_{\max} t_{1\max} - W_{\min} t_{1\min}}{2} \right) \sqrt{(C_1 S^{y_1} HB^{n_1})^2 - (C_2 S^{y_2} HB^{n_2})^2}$$

Если неравномерность податливости технологической системы в различных радиальных направлениях поперечного сечения выразить через коэффициент  $K_W$ , то:

$$\Delta y_{\max} = \frac{nW}{2} \left( t_{\max} K_W - \frac{t_{\min}}{K_W} \right) \sqrt{(C_1 S^{y_1} HB^{n_1})^2 - (C_2 S^{y_2} HB^{n_2})^2}$$

Обозначив:

$$t_{\max} K_W - \frac{t_{\min}}{K_W} = K_{tW}$$

Получим:

$$\Delta y_{\max} = \frac{nK_{tW}W}{2} \sqrt{(C_1 S^{y_1} HB^{n_1})^2 - (C_2 S^{y_2} HB^{n_2})^2}$$

Весьма действенной мерой, резко сокращающей величину смещения оси обрабатываемого отверстия, является увеличение числа переходов обработки, которое,

однако, в то же время приводит к снижению производительности и увеличению себестоимости обработки.

Наиболее рациональной мерой уменьшения погрешности расположения оси отверстия от влияния неуравновешенных сил является уменьшение величины неравномерности припуска по сторонам обрабатываемого отверстия.

Из схемы образования погрешности расположения оси отверстия видно, что на величину неравномерности припуска  $\Delta Z$  влияют погрешность предшествующего перехода -  $\Delta_{(i-1)}$ ; геометрическое смещение оси инструмента -  $\Delta r$  и погрешность установки заготовки  $\Delta \xi$ .

Поскольку эти величины являются случайными, то величину неравномерности припуска можно найти из выражения:

$$\Delta Z = 2\sqrt{(\Delta_{(i-1)})^2 + (\Delta r)^2 + (\Delta \xi)^2}$$

Анализ факторов, влияющих на точность расположения взаимосвязанных отверстий при бескондукторной обработке на агрегатно-расточных станках, жестко связанным инструментом со шпинделем, показал, что геометрические смещения осей инструмента, упругие отжатия технологической системы являются основными факторами, влияющими на суммарную погрешность расположения осей взаимосвязанных отверстий.

### Список литературы

1. Колесников Л.А., Кенигсберг Э.В. Точность установки приспособлений-спутников на автоматических линиях. Известия ВУЗов, Машиностроение, М., №11, 1975.
2. Колесников Л.А. Точность установки заготовок на автоматических линиях. Справочник технолога-машиностроителя. Том 2. Пятое издание. М., 2001 С.382-384.