



**Применение метода установки дополнительной детали при ремонте  
турбокомпрессоров системы газотурбинного наддува  
двигателей внутреннего сгорания  
(на примере ТКР -6)**

*А.Ю.Овчинников, В.В. Власкин, Н.Ю. Князева*

*Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарёва*

**Аннотация:** Основными ресурсопределяющими узлами турбокомпрессора являются подшипниковый узел и элементы газомасляных уплотнений. В статье рассматриваются различные способы ремонта и восстановления деталей турбокомпрессора. Одним из способов ремонта является метод установки дополнительной детали. Дан обзор вариантов его применения. Выявлены достоинства и недостатки, обозначены технологические особенности применения. Рассчитана величина натяга при установке дополнительной, гарантирующая надежную работу во всех режимах эксплуатации турбокомпрессора.

**Ключевые слова:** турбокомпрессор, дополнительная деталь, подшипниковый узел, износ, дефект, натяг, втулка подшипника, средний корпус, газотурбинный наддув, температурная деформация.

Семейство турбокомпрессоров ТКР – 6 устанавливается на двигатели автомобилей гражданского и сельскохозяйственного назначения. Согласно исследованиям ГОСНИТИ наиболее часто встречающейся причиной снижения мощности и крутящего момента двигателя является выход из строя турбокомпрессора.

По данным исследований проведенных в ИМЭ МГУ им Огарева в 83% [1] случаев причиной нарушения работоспособности агрегата является износ деталей подшипникового узла: вала ротора, втулки подшипника, среднего корпуса, а также элементов газомасляного уплотнения. Поэтому актуальной задачей является восстановление их геометрических параметров (размеров, формы и взаимного отклонения поверхностей) и шероховатости. Наиболее подвержена износу втулка подшипника, изготовленная из специальной бронзы (БРОС 10-10).



Согласно исследованиям дефектов доля износа втулки составляет 90%, доля износ рабочей части вала составляет 82%, доля износа средней части составляет 65%, доля износа газомасляных уплотнений составляет 80%, [1].

Наиболее простым решением данной проблемы является замена изношенных деталей на ремонтные или новые, восстановление и метод ремонтных размеров. Обзор рынка запасных частей к турбокомпрессорам показал, что ассортимент невелик и сводится в основном, к деталям с номинальными геометрическими размерами. Однако лишь в 5 % случаев, ремонт ограничивается заменой втулки с номинальными размерами. В остальных случаях проблема требует иных подходов.

Одним из методов является восстановление, путем нанесения различных покрытий на изношенные детали, (ЭИО, ХДГН, ЭКПЛ гальванизирование и др.) [2-7]. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, которые ограничивают применение данных методов. К таковым случаям относятся:

- детали с малыми геометрическими размерами ( $d < 20\text{мм}$  при  $l < d/2$ ) (сложность последующей чистовой обработки, связанной с установкой в зажимное приспособление);
- детали, имеющие глубокие отверстия ( $d < 10\text{мм}$  при  $l > 2d$ ) (сложность нанесения покрытий и последующей чистовой обработки);
- детали, имеющие элементы в конструкции, значения отклонений от соосности, радиального и торцевого биения, которых составляет не более 0,02 мм (сложность с последующей чистовой обработкой);
- детали с износом более 0,7 мм (многократное нанесение).

Поэтому необходим иной подход к восстановлению геометрических параметров деталей. Одним из вариантов решения проблемы является метод установки дополнительной детали.



При большом износе сопрягаемых поверхностей между ними устанавливается дополнительная деталь. В качестве дополнительных деталей обычно применяются втулки различного размера. Обычно толщина устанавливаемой втулки превышает величину износа детали, поэтому перед установкой основная деталь обрабатывается до шероховатости по Ra 1,6 со съемом значительного слоя металла. В качестве дополнительной детали применяется втулка. Применение данного метода обладает следующими достоинствами:

- простота и доступность;
- 100% восстановление деталей турбокомпрессора с любой природой возникновения и любыми величинами износов;
- ресурс отремонтированного узла на уровне нового;
- восстановление требуемых значений зазоров в сопряжениях;
- возможность применения высокотехнологичных средств обработки для уменьшения времени ремонта;
- применим для деталей с различными конфигурациями и любыми сочетаниями материалов.

К недостаткам относятся:

- принцип нарушения взаимозаменяемости деталей;
- снижение усталостной прочности сопряжения;
- повышение значений внутренних напряжений, и как следствие преждевременный выход из строя.

Условием надежной работы соединения является обеспечение необходимого момента трения, препятствующего проворачиванию или сдвигу, при установке дополнительной детали. Для обеспечения необходимого момента трения, соединения основной детали с дополнительной, применяют метод напрессовки. Предпочтительней применять метод горячей напрессовки. Для обеспечения неподвижности

соединения одной детали относительно другой в некоторых случаях необходимо устанавливать стопорные элементы (штифты, винты). После установки дополнительная деталь обрабатывается под номинальный или ремонтный размер.

Основным параметром, определяющим надежность установки дополнительной детали, является натяг  $N$  (рис 1).

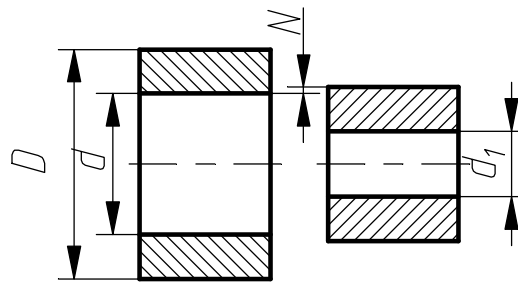


Рис 1- Эскиз установки дополнительной детали

Величина наименьшего расчетного натяга  $N'_{\min}$ , мм рассчитывается по формуле [9]:

$$N'_{\min} = [p_{\min}] \cdot d \cdot \left( \frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right), \text{ мм} \quad (1)$$

где  $d$ - наружный диаметр, мм,  $[p_{\min}]$  - минимальное удельное давление на контактных поверхностях ( $\text{Н/м}^2$ )  $E_1$  - модуль упругости охватывающей детали, МПа;  $E_2$  - модуль упругости охватываемой детали, МПа,  $c_1, c_2$  – коэффициенты.

Минимально допустимый натяг  $[N_{\min}]$ , мм определяется по формуле:

$$[N_{\min}] = N'_{\min} + \gamma_u + \gamma_t + \gamma_y + \gamma_n \quad (2)$$

где  $N'_{\min}$  - минимальный расчетный натяг, мм.,  $\gamma_u$  - поправка, учитывающая смятие неровностей контактных поверхностей деталей при образовании соединения, мм.,  $\gamma_t$  - поправка, учитывающая различие рабочей температуры детали и температуры сборки, мм.,  $\gamma_y$  - поправка, учитывающая ослабление

натяга под действием центробежных сил, мм.,  $\gamma_n$  - поправка, компенсирующее уменьшение натяга при повторных запрессовках.

Значение поправки на температурную деформацию  $\gamma_t$ , мм:

$$\gamma_t = d(\alpha_d \cdot \Delta t_d - \alpha_D \cdot \Delta t_D), \quad (3)$$

где  $d$ - наружный диаметр, мм,  $t_1$  - температура охватываемой детали, °С ;  $t_2$  - температура охватывающей детали, °С ;  $t$  – температура материала в нормальных условиях, °С ;  $\alpha_1$  - коэффициент линейного расширения охватываемой детали,  $10^{-6}/^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_2$  - коэффициент линейного расширения охватывающей детали,  $10^{-6}/^\circ\text{C}$ .

Наибольший допустимый расчетный натяг в соединении  $N'_{\max}$ , мм:

$$N'_{\max} = [p_{\max}] \cdot d \cdot \left( \frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right), \text{ мм} \quad (4)$$

где  $[p_{\max}]$ - удельное давление при максимальном натяге в посадке ( $\text{H}/\text{м}^2$ ),  $\sigma_{T1}$  - предел текучести материала охватывающей детали, МПа;  $d$  - наружный диаметр охватываемой детали, мм;

Наибольший расчетный натяг  $[N_{\max}]$ , мм

$$[N_{\max}] = N'_{\max} + \gamma_{y\partial} + \gamma_u - \gamma_t, \text{ мм} \quad (5)$$

где  $N'_{\max}$  - максимальный расчетный натяг, мм.,  $\gamma_{y\partial}$  - поправка, учитывающая увеличение удельного давления у торцов охватываемой детали [9].

При расчете величины натяга используются значение крутящего момента, прикладываемого к дополнительной детали. Значение крутящего момента в соединении, в процессе механической обработки превышает аналогичный параметр при эксплуатации. В связи с этим при расчете используется значение, возникающее в результате технологических воздействий.

Подставив в формулы 1-5 данные, получим значение величины натяга для деталей турбокомпрессора и приведем их таблице 1

Таблица № 1

Значение величины натяга для деталей турбокомпрессора ТКР - 6

№ пп	Материал	Деталь (Поверхность)	Значение натяга, мкм	
			Min	Max
1	Чугун СЧ -50	Корпус (Отверстие под уплотнительное кольцо)	21	193
2	Бронза БРОС10-10	Втулка подшипника (Посадочная поверхность под вал ротора)	25	142

Полученные значения величины натяга в соединении позволяют гарантировать надежность отремонтированной детали при различных режимах эксплуатации, а также устанавливать технологические требования на геометрические размеры устанавливаемой дополнительной детали при изготовлении.

Несмотря на недостатки, степень влияния которых будет подробно исследовано в дальнейшем, способ ремонтных деталей является универсальным, простым и эффективным методом восстановления и ремонта подшипникового узла турбокомпрессоров ТКР – 6 и других моделей.

### Литература

1. Овчинников А.Ю., Власкин В.В. Анализ дефектов деталей турбокомпрессоров семейства ТКР-6 двигателей Д-245. // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сб науч. тр. Междунар. конф./ редкол.: Сенин П.В. [и др.]; отв. за вып. А.В. Столяров. – Саранск, 2014 с.311-315.

2. Захаров Ю.А., Ремзин Е.В., Мусатов Г.А. Основные дефекты корпусных деталей автомобилей и способы их устранения, применяемые в



авторемонтном производстве // Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2584.

3. Е.С. Филь, В.И. Гаршин, С.Л. Пушенко, А.В. Бакланова  
Экспериментальные исследования дисперсного состава капельного уноса при  
нанесении гальванических покрытий// Инженерный вестник Дона, 2013 URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2194

4. Михалин П.А. Восстановление валов роторов турбокомпрессоров  
дизелей лесных машин и передвижных электростанций: дис. ... канд. Техн.  
наук: М. Моск. гос. ун-т леса.- 2010. 166 с.

5. Власкин В.В. Повышение долговечности турбокомпрессоров  
дизельных двигателей восстановлением изношенных деталей методом  
электроискровой обработки: дис. ... канд.тех.наук. – Саранск: МГУ им. Н.П.  
Огарева, 2004 – 165 с.

6. Koktsinskaya E.M., Roshal A.G. et al. Aging Tests of the High Current  
Aluminum–Copper Contact Connections in the ITER DC Busbar System/ IEEE  
Transactions on Plasma Science. – 2014. -Volume: 42, Issue: 3, pp. 443-448.

7. Dykhuizen, R.C. Smith M.F. Gas dynamic principles of Cold Spray /  
R.C. Dykhuizen, Journal of Thermal Spray Technology. 1998. - Vol. 7, № 2. – pp.  
205-212

8. Фомин А.И Совершенствование технологии восстановления  
чугунных коленчатых валов электроконтактной приваркой стальной ленты  
через промежуточный слой :дис канд.тех.наук 05.20.03– Саранск: МГУ им.  
Н.П. Огарева, 2012 – 200 с.

9. Допуски и посадки: Справочник в 2-х ч. Ч.1 / Под ред. В. Д. Мягкова  
– Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979. – 544 с.

10. Сенин П.В А.Ю. Овчинников, В. В. Власкин, Комплексный подход  
к ремонту турбокомпрессоров сельскохозяйственной техники // Сельский  
механизатор. №12,2014 с. 34-35,38



## References

1. Ovchinnikov A.Ju., Vlaskin V.V., Jenergojefektivnye i resursosberegajushhie tehnologii i sistemy: sb nauch. tr. Mezhdunar. konf. redkol.: Senin P.V. [i dr.]; otv. za vyp. A.V. Stoljarov. Saransk, 2014. pp. 311-315.
2. Zaharov Ju.A., Remzin E.V., Musatov G.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2584](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2584).
3. E.S. Fil', V.I. Garshin, S.L. Pushenko, A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2194](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2194).
4. Mihalin P.A. Vosstanovlenie valov rotorov turbokompressorov dizelej lesnyh mashin i peredvizhnyh jelektrostantsij [Restoration of the rotor shafts of turbochargers of diesel forest machines and mobile power] : dis. ... kand. Tehn. nauk.: M. Mosk. gos. un-t lesa, 2010. 166 p.
5. Vlaskin V.V. Povyshenie dolgovechnosti turbokompressorov dizel'nyh dvigatelej vosstanovleniem iznoshennyh detalej metodom jelektroiskrovoj obrabotki [Increased durability of turbochargers of diesel engines restoration of the worn parts by electric spark machining]: dis. ... kand.teh.nauk . Saransk: MGU im. N.P. Ogareva, 2004. 165 p.
6. Koktsinskaya E.M., Roshal A.G. et al.. IEEE Transactions on Plasma Science. 2014. Volume:42 , Issue: 3, pp. 443-448.
7. Dykhuizen, R.C. Journal of Thermal Spray Technology. 1998. Vol. 7, № 2. pp. 205-212.
8. Fomin A.I Sovershenstvovanie tehnologii vosstanovlenija chugunnyh kolenchatyh valov jelektrokontaktnoj privarkoj stal'noj lenty cherez promezhutochnyj sloj [Improving technology recovery iron crankshafts electrocontact welding steel strip through an intermediate layer]:dis kand.teh.nauk 05.20.03. Saransk: MGU im. N.P. Ogareva, 2012 .200 p.





9. Dopuski i posadki: [Tolerances and landings], Spravochnik v 2-h ch. Ch.1 . Pod red. V. D. Mjagkova .L.: Mashinostroenie. Leningr. otделение, 1979. 544 p.
10. Senin P.V A.Ju. Ovchinnikov, V. V. Vlaskin, Sel'skij mehanizator. №12, 2014. pp. 34-35, 38.