

Анализ напряженно деформированного состояния вала ротора турбокомпрессора с установленной ремонтной втулкой

В.В. Власкин

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет,
г. Саранск*

Аннотация: Двигатели ММЗ Д-245 одни из наиболее широко применяемых в авто-и тракторостроении России и ближнего зарубежья. Турбокомпрессор оказывает значительное влияние на мощностные и экологические показатели этих двигателей. В статье представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния вала ротора турбокомпрессора, с учетом установки ремонтной детали в качестве втулки уплотнения турбины. Анализ созданной твердотельной модели проводился при помощи комплекса SolidWorks. Расчет проводился при различных диаметрах вала под подшипники. Было выявлено, что напряжения в опасных сечениях вала ротора с установленной ремонтной втулкой выше, чем без нее. Однако они значительно ниже допустимых напряжений. Представленные данные позволяют применять данный метод ремонта при восстановлении работоспособности вала ротора турбокомпрессора ТКР-6.

Ключевые слова: двигатель, турбокомпрессор, дефект, технология ремонта, дополнительная деталь, ремонтная втулка, напряженно-деформированное состояние, твердотельная модель, опасное сечение, допустимое напряжение.

На сегодняшний день, одними из наиболее широко применяемых в автомобиле- и тракторостроении России и ближнего зарубежья, являются двигатели Минского моторного завода линейки Д-245. Данные двигатели устанавливаются на автомобили семейства ГАЗ и МАЗ, автобусы ПАЗ, спецтехнику производства «Амкодор», трактора МТЗ и другую технику. Одним из агрегатов двигателей, оказывающих влияние на мощностные и экологические показатели является турбокомпрессор. В связи с этим при нарушении нормальной работы данные агрегаты заменяются на новые или отправляются в ремонт. Наличие большого количества рассматриваемых двигателей делает актуальным для ремонтных предприятий совершенствование технологического процесса ремонта турбокомпрессоров линейки ТКР-6 (в том числе ТКР-6,1, ТКР-6,5.1.), с целью снижения затрат на ремонт и обеспечения необходимых показателей надежности.

На сегодняшний день разработано значительное количество технологий восстановления изношенных поверхностей различных деталей

[1-4] и работы в данном направлении продолжают. Часть из существующих технологий эффективно применяется в ремонтном производстве для восстановления поверхностей вала ротора турбокомпрессора под подшипники [5,6].

Однако, в настоящее время, на ремонт поступает значительное количество турбокомпрессоров, которые снимаются с эксплуатации после достижения предельного состояния, при котором происходит касание наружной поверхностью втулки турбины ротора отверстия среднего корпуса под уплотнительные кольца. По техническим требованиям вал ротора и средний корпус с такими дефектами должны выбраковываться и заменяться на новые, несмотря на то, что остальные поверхности и конструктивные элементы (например лопатки колеса турбины) не имеют дефектов или имеют дефекты, которые могут быть устранены при последующем ремонте. Замена этих деталей на новые приводит к значительному удорожанию стоимости ремонта.

Касание рассматриваемых поверхностей во время работы турбокомпрессора происходит при высоких скоростях вращения ротора и приводит к их значительным износам. В турбокомпрессорах разных марок они могут достигать одного миллиметра и более. Восстановление этого дефекта вала ротора наплавочными методами, позволяющими наносить слои металла соответствующей толщины (в основном с использованием сварочной дуги) для данных деталей не представляется возможным в связи с большой вероятностью короблением вала и разупрочнением соседней поверхности (под подшипники) при воздействии высоких температур.

Таким образом, для устранения рассматриваемого дефекта может быть применен только метод установки дополнительной детали. Данная технология при ремонте вала ротора применительно к этому дефекту ранее не использовалась. И, следовательно, должна быть тщательно исследована, в

том числе с позиций обеспечения надежности агрегата после ремонта. На рис. 1. представлен эскиз применения метода установки дополнительной детали применительно к валу ротора турбокомпрессора.

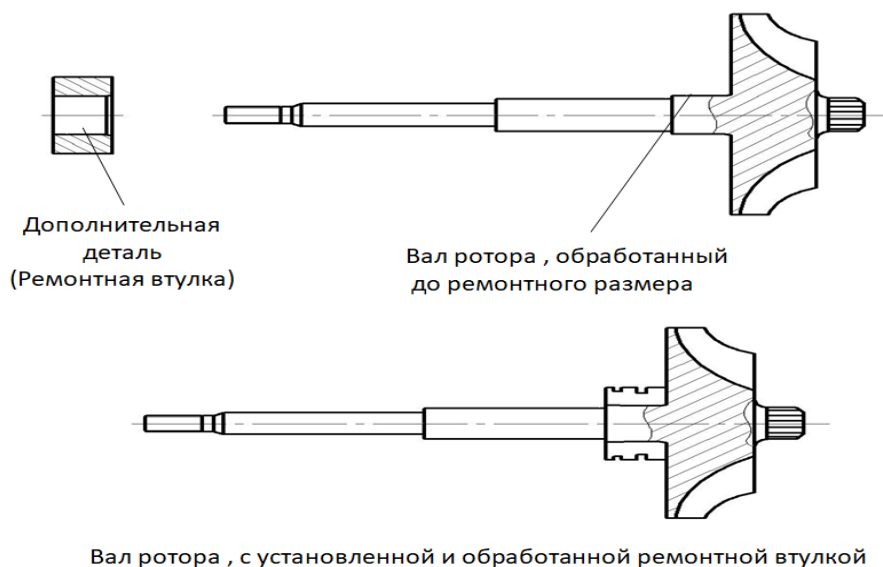


Рис. 1. - Метод установки дополнительной детали применительно к валу ротора турбокомпрессора

С целью определения возможности механической обработки поверхности вала и установки ремонтной втулки, существующая твердотельная модель [7] переработана с учетом предлагаемых изменений (рис. 2). При помощи модуля «статический расчет» системы SolidWorks Simulation [8] был проведен анализ напряженно-деформированного состояния [9] для переработанной твердотельной модели. Анализ проводился при диаметре вала ротора под установку ремонтной втулки 11 мм. Данный размер был определен исходя из конструктивных особенностей втулки после обработки. А также условия соблюдения величины натяга необходимого для обеспечения неподвижности втулки относительно вала при механической обработке и в процессе эксплуатации. Анализ проводился для диапазона размеров поверхности вала ротора под подшипник d_1 , установленного в предыдущих работах [10].

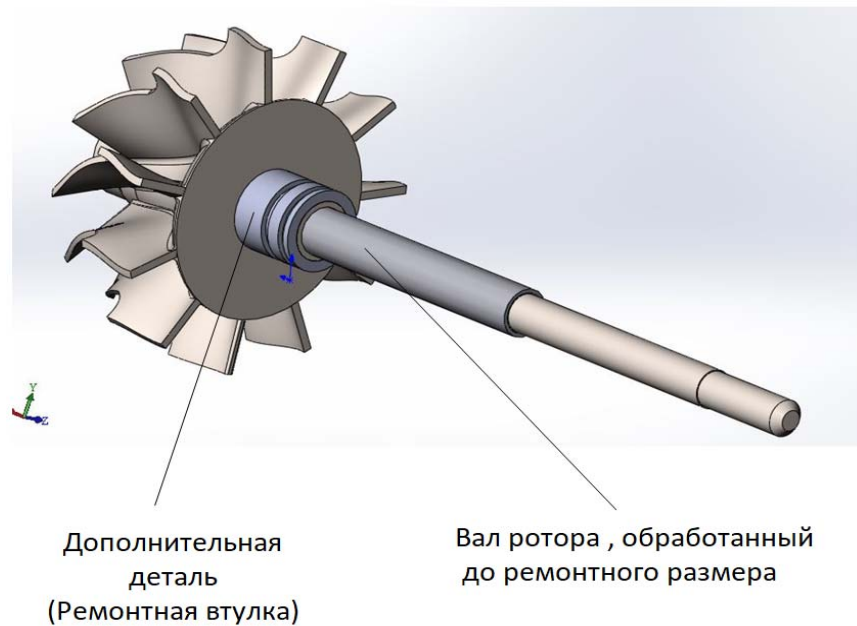


Рис. 2. – Твёрдотельная модель вала ротора турбокомпрессора с установленной дополнительной деталью

Данный диапазон определялся с учетом величин износов рассматриваемой поверхности и распределения микротвердости по глубине. Результаты анализа напряженно-деформированного состояния для крайних значений диапазона изменения диаметра вала ротора под подшипник приведены на рис. 3,4.

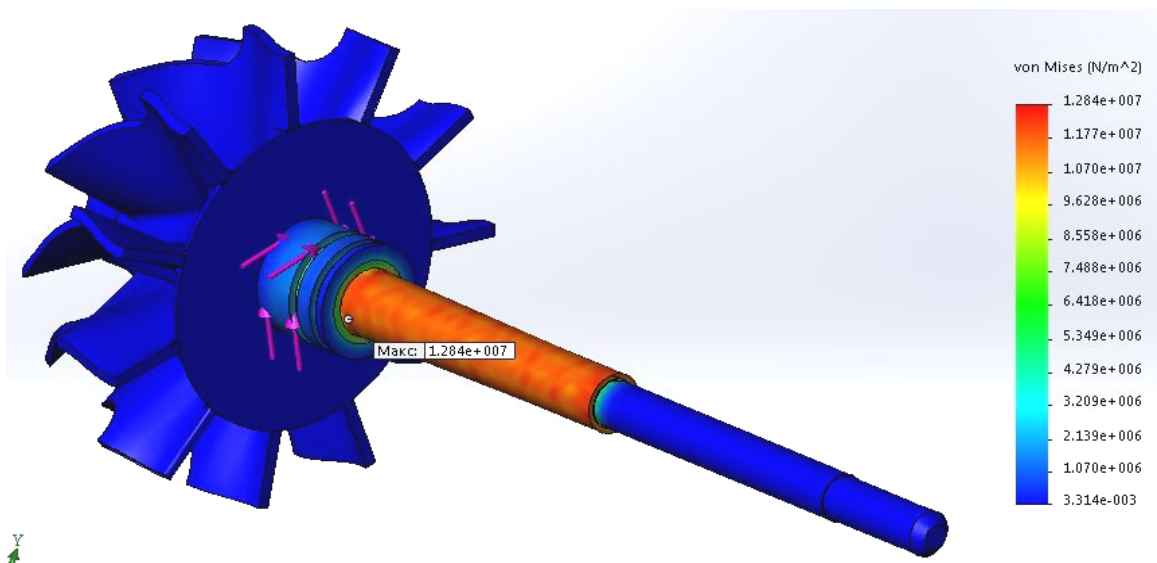


Рис. 3. - Эпюра напряженно -деформированного состояния вала ротора турбокомпрессора при $d_1=8,95$ мм

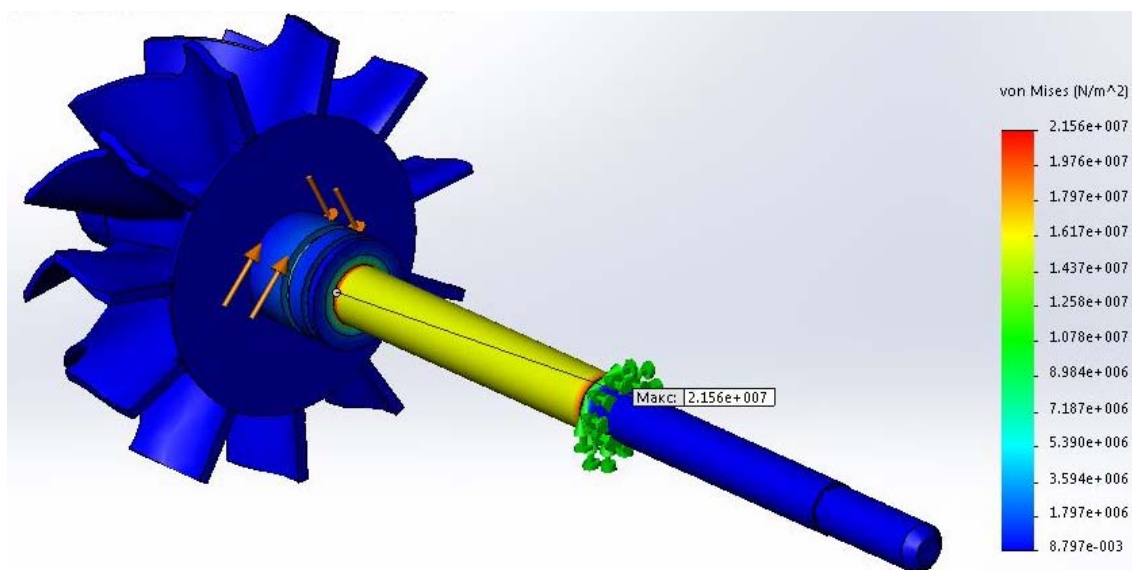


Рис. 4. - Эпюра напряженно -деформированного состояния вала ротора турбокомпрессора при $d_l=8,20$ мм

Значения расчетных величин напряжений представлены в таблице 1.

Таблица №1

Значения расчетных напряжения вала ротора

Диаметр вала ротора, мм	Максимальное расчетное напряжение, Н/м ²	Допускаемое напряжение при кручении $[\tau_{кр}]$, Н/м ²
8,95	$1,28 \cdot 10^7$	$1,47 \cdot 10^8$
8,20	$2,16 \cdot 10^7$	$1,47 \cdot 10^8$

Таким образом уменьшение диаметра поверхности под установку ремонтной втулки приводит к повышению расчетных напряжений в опасных сечениях вала ротора. Сечением с наибольшими значениями напряжений в данной модели является место перехода от поверхности вала под подшипники к поверхности обработанной для установки ремонтной детали – втулки ротора. Однако, они значительно ниже допускаемого напряжения на кручение, даже при минимально допустимом диаметре вала ротора под

подшипники – 8,2 мм. Следовательно, изменение конструктивных параметров вала не будет оказывать существенного влияния на конструкционную прочность в процессе работы агрегата. Таким образом, вероятность разрушения в процессе нормальной эксплуатации турбокомпрессора, вследствие возникновения явления резонанса, даже при минимально допустимом диаметре будет очень мала.

Литература.

1. Михалин П.А. Восстановление валов роторов турбокомпрессоров дизелей лесных машин и передвижных электростанций: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. М. Моск. гос. ун-т леса. 2010. 166 с.
2. Червяков С.В., Столяров А.В., Давыдкин А.М. Технологические рекомендации по ремонту рулевых механизмов автомобилей КАМАЗ // Инженерный вестник Дона, №4. 2018 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5275.
3. Власкин В.В, Овчинников А.Ю., Князева Н.Ю. Применение метода установки дополнительной детали при ремонте турбокомпрессоров системы газотурбинного наддува двигателей внутреннего сгорания (на примере ТКР-6) // Инженерный вестник Дона. 2015. №2 (часть 2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3016/.
4. 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.
5. Сайфуллин Р.Н., Наталенко В.С., Павлов А.П., Фархшатов Д.М. Совершенствование технологического процесса ремонта турбокомпрессоров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. № 8. С.5-9.
6. Латыпов Р.А., Денисов В.А., Агеев Е.В. Исследование и разработка технологии восстановления вала ротора турбокомпрессора электроискровой обработкой электроэрозионными наноматериалами // Современные материалы. Техника и технологии. 2016. № 2(5). С. 141-146.

7. Овчинников А.Ю., Князева Н.Ю. Моделирование напряженно-деформированного состояния вала ротора турбокомпрессора семейства ТКР-6 // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова. Институт механики и энергетики. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2016. С. 254-257.

8. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. ДМК пресс. 2014. 562 с.

9. Vistamehr, A. Analysis of automotive turbocharger nonlinear vibrations including bifurcation : a thesis master of science / A. Vistamehr. – Texas A&M University, 2009. – 100 p.

10. Овчинников А.Ю., Власкин В.В. Исследование микротвердости валов турбокомпрессоров ТКР-6 // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2014. С. 315-321.

References

1. Mihalin P.A. Vosstanovlenie valov rotorov turbokompressorov dizelej lesnyh mashin i peredvizhnyh elektrostancij [Restoration of shafts of rotors of turbochargers of diesel engines, forest machines and mobile power plants]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.01. M. Mosk. gos. un-t lesa. 2010. 166 p.

2. Chervyakov S.V., Stolyrov A.V., Davydkin A.M., Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5275.

3. Vlaskin V.V., Ovchinnikov A.Yu., Knyazeva N.Yu. Inzhenernyj Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. №2 (part 2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3016/

4. Dykhuizen, R.C. Journal of Thermal Spray Technology. 1998. Vol. 7, № 2. pp. 205-212.
5. Sajfullin R.N., Natalenko V.S., Pavlov A.P., Farhshatov D.M. Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija. 2011. № 8. pp.5-9
6. Latypov R.A., Denisov V.A., Ageev E.V. Sovremennye materialy. Tekhnika i tekhnologii. 2016. № 2(5). pp. 141-146.
7. Ovchinnikov A.YU., Knyazeva N.YU. Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj pamyati doktora tekhnicheskikh nauk, professora F. H. Burumkulova. Institut mekhaniki i energetiki. [Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the memory of doctor of technical Sciences, Professor F. H. burumkulov. Institute of mechanics and power engineering]/ Saransk: Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogaryova, 2016. pp. 254-257.
8. Alyamovskij A.A. SolidWorks Simulation. Inzhenernyj analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendacii. [Engineering analysis for professionals: tasks, methods, recommendations]. DMK press. 2014. 562 p.
9. Vistamehr, A. Analysis of automotive turbocharger nonlinear vibrations including bifurcation: a thesis master of science. A. Vistamehr. Texas A&M University, 2009. 100 p.
10. Ovchinnikov A.Ju., Vlaskin V.V. Jenergojeffektivnye i resursoberegajushhie tehnologii i sistemy. [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems] Saransk: Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogarjova, 2014. pp. 315-321.