

## Особенности создания модели вала ротора ремонтируемого турбокомпрессора

*В.В. Власкин*

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева, г. Саранск*

**Аннотация:** В настоящее время для проведения исследований в области техники широко применяются различные программные комплексы, позволяющие создавать математические модели реальных объектов. Однако, при их создании, не всегда имеются все необходимые данные. Поэтому необходимо проводить дополнительные исследования с реальными деталями. Для определения твердости материала вала ротора турбокомпрессора на различной глубине от поверхности, изготавливались специальные образцы из новых деталей. Далее определялась микротвердость материала вала в различных сечениях. В результате установлено, что от поверхности твердость уменьшается и на глубине 1 мм становится равной твердости незакаленного материала. После проведения исследований создается геометрическая модель вала ротора. Рабочая часть модели вала состоит из двух слоев - поверхностного с повышенной твердостью, толщиной 1 мм и внутреннего незакаленного. Данная модель используется при исследовании и разработке технологических процессов ремонта детали.

**Ключевые слова:** программный комплекс, математическая модель, статический анализ, вал ротора, закалка, твердость, образец, глубина, поверхностный слой, ремонт

Одной из тенденций современных исследований в различных областях науки является применение специализированных компьютерных программ и комплексов, позволяющих строить математические модели, имитирующие объекты и процессы и проводить с ними различные расчеты. Это в полной мере относится к исследованиям в области техники [1-3].

Одним из таких программных комплексов, предназначенных для решения различных инженерных задач, является система SolidWorks. Ее широкое использование, как на промышленных предприятиях, так и в научно-исследовательских организациях, обусловлено простотой освоения и использования, а также наличием обширного набора средств инженерного анализа [4]. Для проведения расчетов конструкций часто применяется подпрограмма SolidWorks Simulation. Она представляет собой программное средство, позволяющее решать задачи механики деформируемого твердого тела. Обеспечивает возможность проведения расчетов по оптимизации

---

конструктивных параметров объекта по критериям минимизации/максимизации массы, объёма, собственных частот колебаний и критической силы; имитировать деформацию конструкции с учётом нелинейности, проводить усталостный, прочностной расчёт т.д. [5].

Такие возможности данной программы обеспечивают её широкое применение, как при разработке новых конструкций машин и оптимизации существующих, так и при разработке технологических процессов ремонта агрегатов машин с применением методов восстановления изношенных деталей [6].

Использование данного комплекса позволяет смоделировать состояния узла отремонтированного различными способами. Они позволяют получить данные о напряженно-деформированном состоянии, усталости, запасе прочности, частотной и вибрационной устойчивости узла, дающие возможность оценивать его ресурс и долговечность.

При построении модели реальных объектов необходимо учитывать особенности технологических процессов, присущие различным методам термической обработки конкретных деталей.

Так, например, для различных валов необходимо учитывать, что твердость рабочих поверхностей вала достигается за счёт поверхностной закалки, например, токами высокой частоты (ТВЧ). При этом закаливается только поверхностный слой детали на глубину, определенную при проведении конструкторских расчетов и зависящую от технологических режимов термообработки. Твердость и глубина закаливания указывается в рабочих чертежах деталей или технических требованиях на ремонт объектов [7]. Однако для многих агрегатов, устанавливаемых на современную технику в свободном доступе отсутствуют как конструкторская документация, так и технические требования на ремонт. Производители современной техники не всегда заинтересованы в публикации подобной информации.

---

В связи с этим, для определения величин твердости материала деталей на различной глубине необходимо проводить дополнительные исследования.

Для определения твердости валов роторов турбокомпрессоров семейства ТКР-6 был проведен комплекс исследований, включающий изготовление и подготовку образцов для определения твердости и ее последующее измерение. Для более точного определения толщины закаленного слоя проводились измерения микротвердости.

Образцы изготавливались из новых валов, установленных в агрегаты, а также, поставляемых в качестве запасных частей, предназначенных для установки в отремонтированные турбокомпрессоры.

Для проведения исследований из рабочей части каждого вала вырезались по 4 образца диаметром, равным диаметру вала и длиной 8 мм, по сечениям согласно схеме, представленной на рисунке 1.

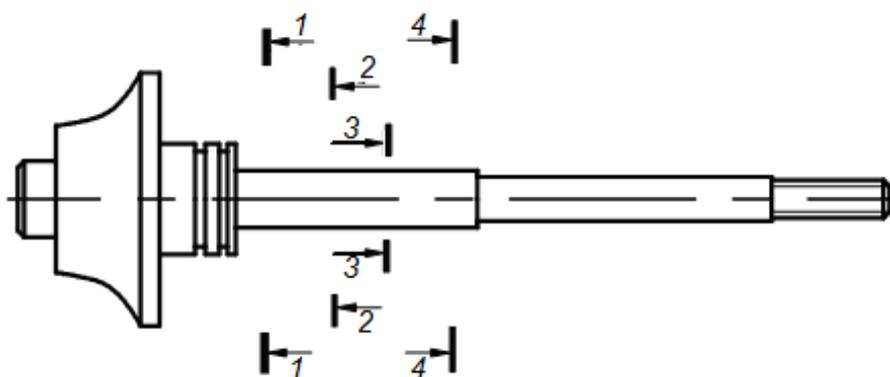


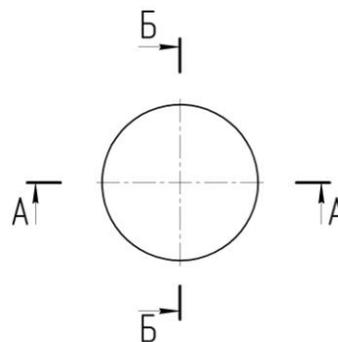
Рис. 1 - Схема реза вала ротора

После разрезания вала были подготовлены образцы для исследования. Образцы изготавливались с использованием комплекса для подготовки микрошлифов, состоящего из отрезного станка Discotom-6, прессы CitoPress-1, шлифовально-полировального станка TegraPol-21. Подготовка образцов заключалась: в горячей запрессовке в смолу MultiFast с последующим охлаждением водой; механической обработке поверхностей, включающей выравнивание (грубое шлифование), тонкое шлифование, два этапа полировки [8].

Внешний вид полученных образцов представлен на рис. 2а. Микротвердость каждого образца измерялась в двух перпендикулярных сечениях от поверхности к центру (рис. 2б) через 0,1 мм.



а) образцы запрессованные в смолу



б) схема измерения микротвердости по сечениям образца

Рис. 2. - Внешний вид образцов для измерения микротвердости и схема измерения по сечениям

Измерения заканчивались, когда значение микротвердости стабилизировались (в течение пяти измерений подряд значения отличались не более чем на 10%). Средние значения микротвердости по сечениям представлены в таблице №1.

Таблица № 1

Средние значения микротвердости HV, кгс/мм<sup>2</sup> исследуемых образцов по сечениям

Расстояние от поверхности, мм	Номер образца (сечения)				Расстояние от поверхности, мм	Номер образца (сечения)			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	570	539	536	532	1,1	353	388	355	382
0,1	572	542	532	544	1,2	349	384	358	377
0,2	568	543	526	544	1,3	343	380	359	372
0,3	563	514	510	525	1,4	340	379	355	368
0,4	554	508	496	520	1,5	342	377	345	366

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	540	480	478	487	1,6	340	372	344	361
0,6	499	458	450	464	1,7	337	370	350	355
0,7	479	456	436	462	1,8	338	368	349	353
0,8	421	435	421	434	1,9	340	370	347	349
0,9	403	424	421	419	2	341	371	347	341
1,0	361	398	359	391					

Графики изменения средней микротвердости в соответствующих сечениях по глубине от поверхности образцов представлены на рисунке 3.

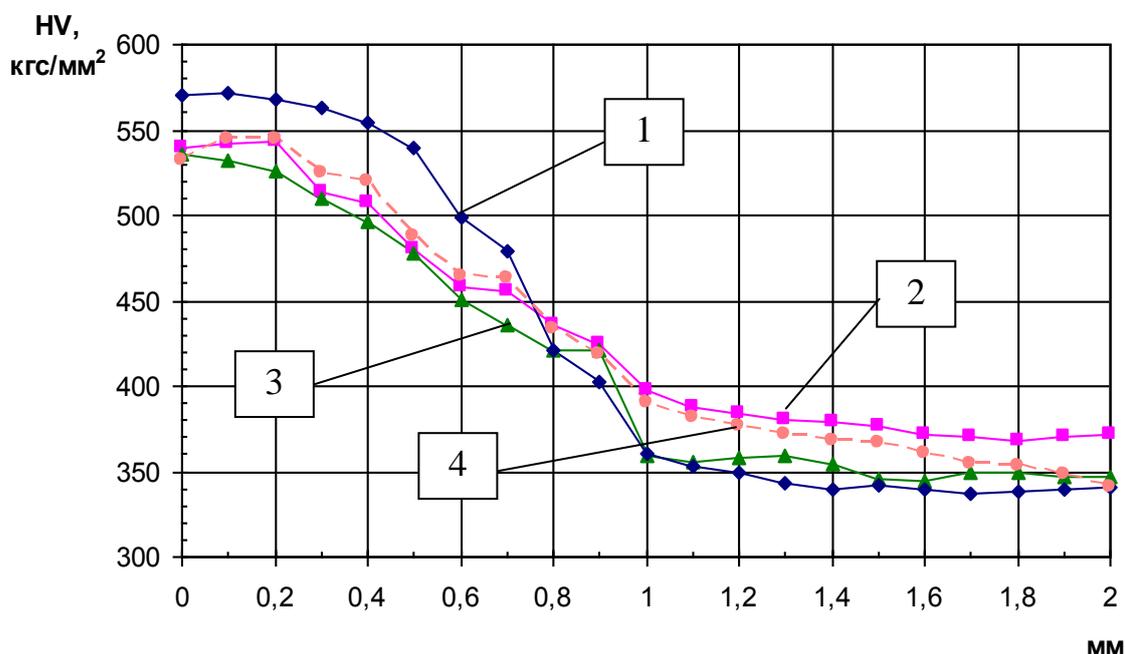


Рис. 3. - Графики изменения средней микротвердости HV образцов по глубине

С учетом данных значений была построена геометрическая модель вала ротора турбокомпрессора ТКР-6 (рис.4а).

Рабочая часть вала состоит из двух слоев (рис. 4б) - внутреннего - 1, имитирующего «вязкую» сердцевину и наружного - 2, толщиной 1 мм, имитирующего поверхностную закалку.

Созданная модель вала ротора, учитывающая глубину закаленного слоя, предоставляет возможность проводить расчеты различных характеристик детали, более точно соответствующих реальным значениям.

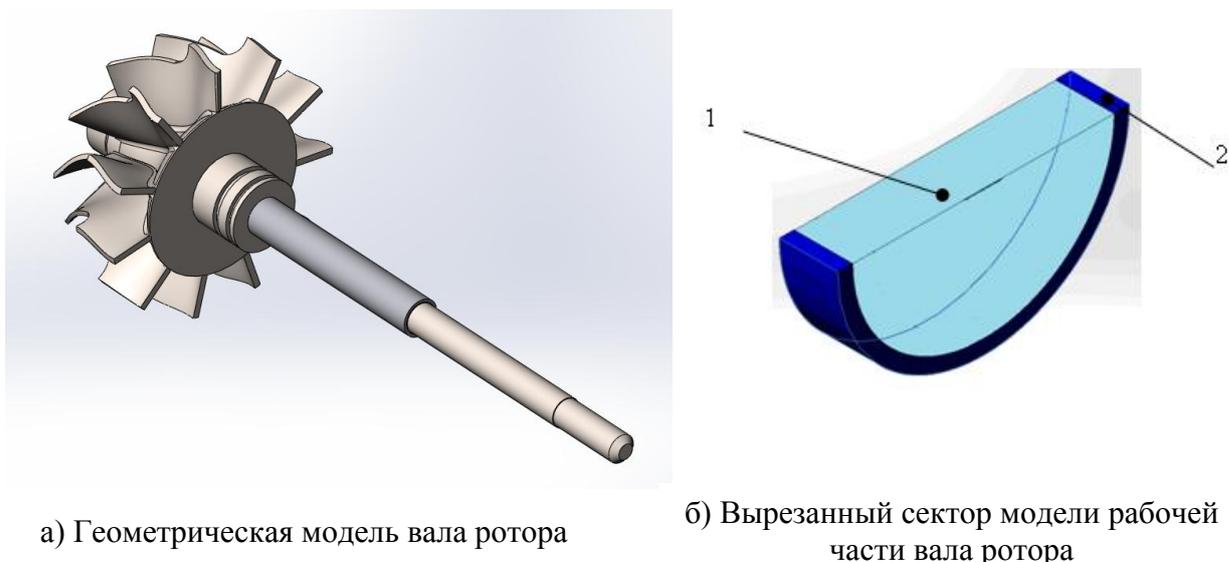


Рис. 4. – Геометрическая модель вала ротора турбокомпрессора ТКР-6

Проводимые расчеты позволят прогнозировать напряженно-деформированные состояния вала, а также другие характеристики, и, соответственно, долговечность детали при изменении размеров и твердости рабочих поверхностей. Таким образом, данная модель может быть использована при выборе и обосновании методов восстановления работоспособности деталей, применяемых в настоящее время [9,10]. На основе выбранных методов разрабатываются технологические процессы ремонта вышедших из строя деталей и агрегатов.

### Литература

1. Osako, K., Yokoyama T., Yoshida T., Hoshi T. Development of twincroll turbine for automotive turbochargers using unsteady numerical simulation // Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. 2013. Vol. 50. № 1. pp. 23-30.
2. Nakhjiri, M., Pelz P. F., Matyschok B., Horn A., Däubler L. Physical modeling of automotive turbocharger compressor: Analytical approach and validation // SAE International, Commercial Vehicle Engineering Congress,

Chicago, IL, USA. 2011. URL: [yumpu.com/en/document/read/37963193/physical-modeling-of-automotive-turbocharger-compressor-](http://yumpu.com/en/document/read/37963193/physical-modeling-of-automotive-turbocharger-compressor-).

3. Сенин П.В., Фомин А.И. Расчет прочностных параметров коленчатых валов при усталостных испытаниях с целью обеспечения их надежности // Инженерный вестник Дона. 2019. №1. URL [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5694](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5694).

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

5. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 562 с.

6. Борисов В.И., Мартынова Е.Г. Компьютерное моделирование напряженного состояния деталей делительного устройства тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. С. 541-549.

7. Турбокомпрессоры тракторных и комбайновых дизелей. Технические требования на капитальный ремонт. ТК 10-05.0001.003 – 86. Москва: ГОСНИТИ, 1988. 65 с.

8. 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.

9. Сенин П.В., Давыдкин А.М., Червяков С.В. Выбор рациональных способов восстановления деталей насосов дозаторов и гидрорулей гидрообъемного рулевого управления // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. №3. С. 11-14.

---



10. Червяков С.В., Столяров А.В., Давыдкин А.М. Технологические рекомендации по ремонту рулевых механизмов автомобилей КАМАЗ // Инженерный вестник Дона, 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5275.

### References

1. Osako, K., Yokoyama T., Yoshida T., Hoshi T. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. 2013. Vol. 50. № 1. pp. 23-30.
2. Nakhjiri, M., Pelz P. F., Matyschok B., Horn A., Däubler L. SAE International, Commercial Vehicle Engineering Congress, Chicago, IL, USA. 2011. URL: [yumpu.com/en/document/read/37963193/physical-modeling-of-automotive-turbocharger-compressor-](http://yumpu.com/en/document/read/37963193/physical-modeling-of-automotive-turbocharger-compressor-).
3. Senin P.V., Fomin A.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №1. URL [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5694](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5694)
4. Alyamovskij A.A. SolidWorks Simulation. Inzhenernyj analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendacii. [SolidWorks Simulation. Engineering analysis for professionals: tasks, methods, recommendations]. DMK press. 2014. 562 p.
5. Aljamovskij A.A. SolidWorks Simulation. Kak reshat' prakticheskie zadachi. [SolidWorks Simulation. How to solve practical problems]. SPb.: BHV-Peterburg, 2012. 562 p.
6. Borisov V.I., Martynova E.G. Jenergojeffektivnye i resursosberegajushhie tehnologii i sistemy. Saransk: Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogarjova, 2020. pp. 541-549.
7. Turbokompressory traktornyh i kombajnovyh dizelej. Tehnicheskie trebovanija na kapital'nyj remont. [Turbochargers of tractor and combine diesels. Technical requirements for major repairs] ТК 10-05.0001.003 – 86. Moskva: GOSNITI, 1988. 65 p.



8. Ovchinnikov A.Ju., Vlaskin V.V. Jenergojefektivnye i resursosberegajushhie tehnologii i sistemy. Saransk: Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogarjova, 2014. pp. 315-321.

9. Senin P.V., Davydkin A.M., Chervyakov S.V. Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya. 2015. №3. pp. 11-14.

10. Chervyakov S.V., Stolyrov A.V., Davydkin A.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5275](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5275).