

УДК 621.91

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ТОРСИОННЫХ ВАЛОВ, УПРОЧНЕННЫХ ДРОБЬЮ

Блурцын Д.Р., Блурцын Р.Ш., Блурцын И.Р.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муром, Россия (602264, Муром, ул. Орловская, д. 23), e-mail: oid@mivlgu.ru

В выполненной работе приводятся результаты исследований по совершенствованию технологического процесса изготовления торсионных валов с целью обеспечения благоприятных технологических остаточных напряжений поверхностных слоев. Получены результаты, обеспечивающие повышение качества рабочих поверхностей торсионных валов, способствующие увеличению циклической прочности. Представлены результаты исследований влияния режимов дробеструйной и дробемётной обработки на закономерности формирования технологических остаточных напряжений рабочих поверхностей торсионных валов. Установлено влияние величины и знака технологических остаточных напряжений на циклическую прочность торсионных валов. Установлено также, что базовый технологический процесс изготовления торсионных валов не гарантирует получения на всех рабочих поверхностях технологических остаточных напряжений сжатия достаточной величины. Для формирования в рабочих поверхностях торсионных валов технологических остаточных напряжений сжатия достаточной величины необходимо исключить из технологического процесса изготовления торсионных валов операции шлифования

Ключевые слова: торсионные валы, дробеструйная обработка, дробемётная обработка, качество поверхностей, технологические остаточные напряжения, ресурс работы торсионных валов.

RESEARCHES OF REGULARITIES OF FORMATION TECHNOLOGICAL RESIDUAL TENSION IN BLANKETS OF THE TORSION SHAFT STRENGTHENED BY FRACTION

Blurtsyan D.R., Blurtsyan R.S., Blurtsyan I.R.

The Murom Institute (branch) of the Federal state budgetary educational institution of higher professional education «The Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs», Murom, Russia (602264, Murom, street Orlovskaya, 23), e-mail: oid@mivlgu.ru

Results of researches on improvement of technological process of production of the torsion shaft for the purpose of ensuring favorable technological residual tension of blankets are given in the performed work. The results providing improvement of quality of working surfaces of the torsion shaft, promoting increase in cyclic durability are received. Results of researches of influence of the modes of bead-blasting and drobemyotny processing on regularities of formation of technological residual tension of working surfaces of the torsion shaft are presented. Influence of size and a sign of technological residual tension on the cyclic durability of the torsion shaft is established

Keywords: the torsion shaft, bead-blasting processing, drobemyotny processing, quality of surfaces, technological residual tension, resource of work of the torsion shaft

На эксплуатационные свойства деталей машин наряду с геометрическими параметрами, физико-механическими свойствами, большое влияние оказывает величина и знак технологических остаточных напряжений, формируемых при выполнении операций технологического процесса изготовления детали.

Появление остаточных напряжений связано с условиями изготовления деталей, поэтому технологические процессы изготовления деталей должны проектироваться так, чтобы возникающие в поверхностных слоях остаточные напряжения гарантировали надежность и

требуемый ресурс работы деталей в заданных условиях эксплуатации.

Цель исследования

Технологические остаточные напряжения, возникающие в поверхностных слоях при их обработке являются одним из факторов, влияющих на усталостную прочность торсионных валов.

В соответствии с технологией обработки торсионных валов, изготавливаемых из стали 45ХН2МФА-Ш, основные рабочие поверхности (стержень и галтели) после токарной и термической обработки подвергаются операциям предварительного и окончательного шлифования.

Известно, что процесс шлифования валов отрицательно влияет на ряд важнейших показателей качества поверхностей и особенно на остаточные напряжения.

Под воздействием высоких температур в зоне шлифования в поверхностных слоях формируются, как правило, растягивающие остаточные напряжения.

В соответствии с вышеизложенным необходимо исключить операции круглого шлифования торсионных валов, в результате выполнения которых в рабочих поверхностях стержня и галтелей формируются преимущественно растягивающие остаточные напряжения, которые уменьшают циклическую прочность валов при их испытаниях и эксплуатации [1, 2, 3, 4, 5].

Материал и методы исследований

Исследования остаточных напряжений выполнены по методике акад. Н.Н. Давиденкова [6, 7] на установке, разработанной в Муромском филиале Владимирского политехнического института. Исследовались тангенциальные технологические остаточные напряжения. При исследовании тангенциальных технологических остаточных напряжений в поверхностных слоях стержня вала определяли полное (суммарное) напряжение первого рода в виде суммы трех составляющих:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3,$$

где σ_1 – напряжение, удаляемое при резке кольца;

σ_2 – напряжение, удаляемое одновременно со снимаемым слоем металла;

σ_3 – учитывает напряжения, действующие в ранее удаленных слоях.

Образцы-кольца диаметром 55 мм или 54 мм вырезались из стержня торсионного вала; ширина колец – 6 мм, толщина – 2,5 мм.

Установлено, что в поверхностных слоях торсионных валов после закалки и отпуска формируются сжимающие остаточные напряжения. Величина этих напряжений на глубине 0,1 мм колеблется в пределах -230...-360 МПа и более. После выполнения операций предварительного шлифования картина напряженного состояния, имеющая место после

операций термообработки, резко меняется. При этом возникают растягивающие напряжения, достигающие 100...400 МПа.

После окончательного шлифования и последующего обкатывания стержня и галтелей торсионного вала удается создать в поверхностном слое сжимающие напряжения. Однако технологический процесс не всегда обеспечивает на всех участках поверхностей стержня и галтелей вала отсутствие растягивающих напряжений, наличие которых отрицательно сказывается на усталостной прочности валов. Для повышения качества поверхностей торсионных валов выполнены исследования по установлению закономерностей формирования остаточных напряжений в поверхностных слоях, обработанных без операций шлифования стержня и галтелей.

За основу нового технологического процесса изготовления торсионных валов без операций шлифования положена замена этих операций процессами упрочнения дробью. Исследованы дробеструйная и дробемётная обработки рабочих поверхностей торсионных валов взамен операций шлифования. Эффективность использования операций упрочнения дробью заключается в том, что за счет исключения операций шлифования и введения в технологический процесс дробеструйной или дробемётной обработки с последующим обкатыванием обеспечиваются все технические требования, предъявляемые к торсионным валам.

При исследовании дробеструйной обработки изучены закономерности формирования остаточных напряжений в зависимости от продолжительности процесса. Обработка осуществлялась на установке дробеструйной очистки базового завода с использованием дроби чугунной колотой (ДЧК) размером 0,1...3 мм. Закономерности формирования осевых напряжений по глубине поверхностного слоя в зависимости от времени дробеструйного упрочнения образца представлены на рисунке 1. Как видно, при дробеструйном упрочнении в поверхностном слое глубиной до 0,15 мм формируются сжимающие напряжения величиной -25...-200 МПа. С увеличением продолжительности упрочнения сжимающие напряжения растут.

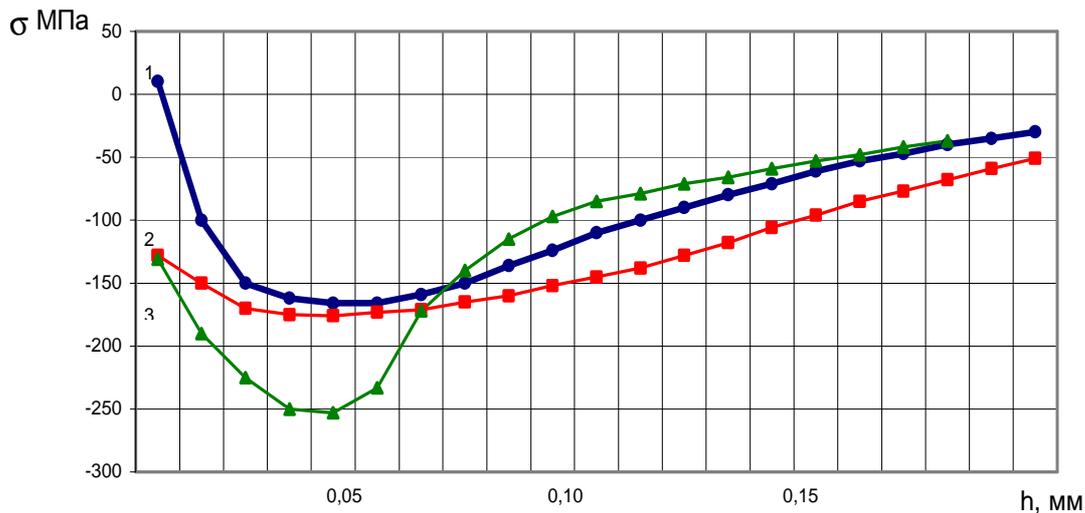


Рис.1. Распределение осевых технологических остаточных напряжений σ по глубине залегания поверхностных слоев h от времени дробеструйного упрочнения τ при перпендикулярном направлении дроби: 1 – τ – 1 мин; 2 – τ – 4 мин; 3 – τ – 8 мин

На рисунке 2 показано распределение тангенциальных напряжений по глубине залегания исследуемого слоя от поверхности для различных методов обработки поверхности стержня. Как видно, при чистовом шлифовании в поверхностном слое металла глубиной до $h = 0,02$ мм действуют большие растягивающие напряжения (при $h = 0,0035$ мм, $\sigma = 340$ МПа). Последующее обкатывание стержня обеспечивает формирование в поверхностном слое $h = 0,003$ мм сжимающих напряжений. Однако на глубине $h = 0,0035$ мм встречаются растягивающие напряжения (кривая 2). Дробеструйное упрочнение поверхностного слоя валов значительно повышает уровень сжимающих остаточных напряжений. Так, на глубине $h = 0,02$ мм, $\sigma = -550 \dots -600$ МПа.

Для исследования усталостной прочности валов, обработанных по новой технологии без шлифования с дробеструйным упрочнением, были изготовлены экспериментальные торсионные валы.

При дробеструйном упрочнении торсионных валов шлицевые головки упрочняли дробью ДЧК размером 1...3 мм в течение 5 мин, а галтели R100 и стержень $\varnothing 52$ мм в течение 3 мин. В процессе упрочнения торсионный вал вращался (скорость 3 м/мин). Экспериментальные торсионные валы подвергались стендовым испытаниям на усталостную прочность в соответствии с инструкциями на испытания базового предприятия.

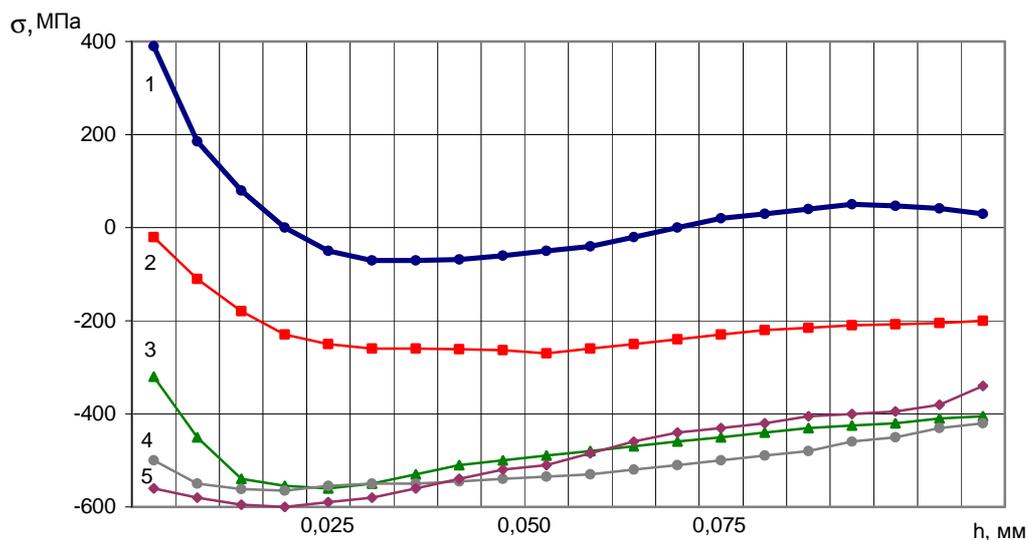


Рис.2. Распределение тангенциальных технологических остаточных напряжений по глубине залегания поверхностных слоев при различных методах обработки стержня и галтелей торсионного вала: 1 – чистовое шлифование; 2 – базовая технология (чистовое шлифование, обкатывание); 3, 4, 5 – чистовое шлифование, дробеструйное упрочнение, обкатывание

При испытаниях экспериментальный вал № 1 выдержал 520000 циклов-закруток и разрушился по стержню, а вал № 2 выдержал 970000 циклов-закруток, не разрушился и был снят с испытаний ввиду загруженности стенда.

Распределение технологических остаточных напряжений различных участков стержня торсионного вала № 1 после стендовых испытаний представлено на рисунке 3. Тангенциальные остаточные напряжения являются напряжениями сжатия, изменяющимися в пределах -200...-480 МПа.

В настоящей работе показано также влияние операций дробемётного упрочнения на формирование тангенциальных остаточных напряжений в поверхностных слоях стержня и галтелей торсионного вала.

Дробемётному упрочнению подвергались торсионные валы, прошедшие механическую и термическую обработку. Обработка дробью торсионных валов проводилась в дробемётной камере типа 42816 базового завода. В качестве дробы использовали дробь чугунную (ДЧК) размером 1...3 мм.

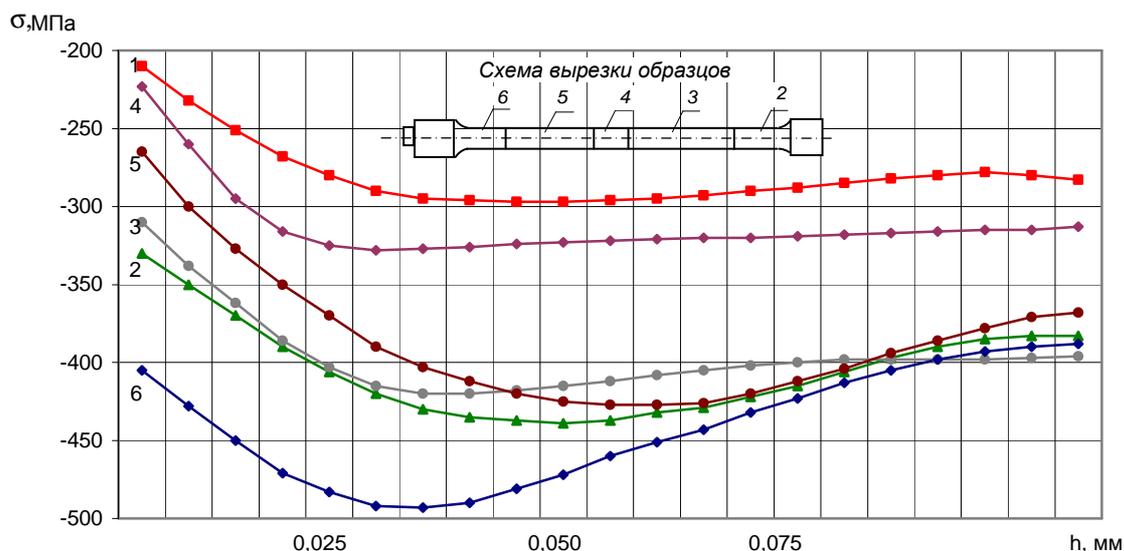


Рис.3. Распределение технологических остаточных напряжений σ по глубине залегания поверхностных слоев h стержня торсионного вала, подвергнутого дробеструйному упрочнению и обкатыванию: 1 – осевые напряжения, образец 3; 2, 3, 4, 5, 6 – тангенциальные напряжения; образцы 2, 3, 4, 5, 6 соответственно

Торсионные валы обработаны по следующей технологии: точение; термообработка, горячая правка, дробеметное упрочнение поверхностей шлиц, галтелей R100 и стержня $\varnothing 52$ мм, накатка впадин шлиц, 1-е заневоливание, обкатка стержня и галтелей торсионного вала, 2-е заневоливание. При изготовлении валов были выдержаны все геометрические параметры точности и расположения отдельных поверхностей торсионного вала. Шероховатость поверхностей стержня и галтелей на токарной операции была обеспечена в пределах $R_z = 10 \dots 15$ мкм.

С целью исследования влияния режимов операций дробеметного упрочнения и последующего обкатывания на технологические остаточные напряжения был изготовлен вал, отдельные участки стержня которого были обработаны дробью в течение различных промежутков времени.

Результаты исследований распределения тангенциальных технологических остаточных напряжений в поверхностном слое при различном времени дробеметной обработки стержня торсионного вала представлены на рисунке 4, из которого следует, что при всех режимах дробеметного упрочнения в поверхностном слое формируются лишь сжимающие напряжения. При этом напряжения на глубине $h = 0,05$ мм при времени дробеметного упрочнения $\tau = 5$ мин составляют -420 МПа и увеличиваются до -485 МПа при $\tau = 20$ мин.

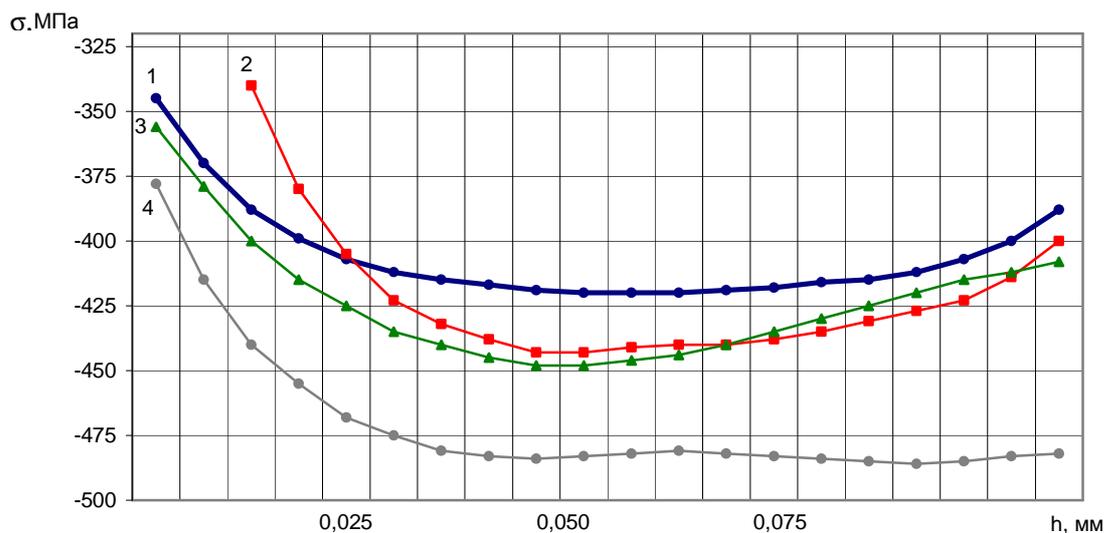


Рис.4. Изменения тангенциальных технологических остаточных напряжений σ в зависимости от глубины залегания слоя и времени дробеметной обработки τ стержня торсионного вала: 1 – $\tau = 5$ мин; 2 – $\tau = 10$ мин; 3 – $\tau = 15$ мин; 4 – $\tau = 20$ мин

На рисунке 5 даны результаты исследования технологических остаточных напряжений по глубине поверхностных слоев стержня торсионного вала, подвергнутого дробеметному упрочнению, обкатыванию и прошедшего стендовые испытания (520000 циклов-закруток без разрушения вала). Как видно из рисунка, в поверхностном слое вала сформированы сжимающие тангенциальные остаточные напряжения, величина которых колеблется в пределах -100...-300 МПа. На кривых 1–4 на расстоянии 0,01...0,02 мм от поверхности стержня $\varnothing 52$ мм имеется перегиб, обусловленный упрочнением поверхностного слоя при дробеметной обработке и обкатывании стержня торсионного вала.

Исследованиями установлено, что с увеличением величины остаточных сжимающих напряжений в поверхностных слоях растет усталостная прочность вала. Так, для вала, обработанного по новой технологии (операция шлифования заменена на операцию дробеметного упрочнения) и выдержавшего до разрушения 970000 циклов-закруток, величина сжимающих тангенциальных технологических остаточных напряжений в поверхностных слоях стержня на глубине 0,1 мм колеблется в пределах -270...-420 МПа.

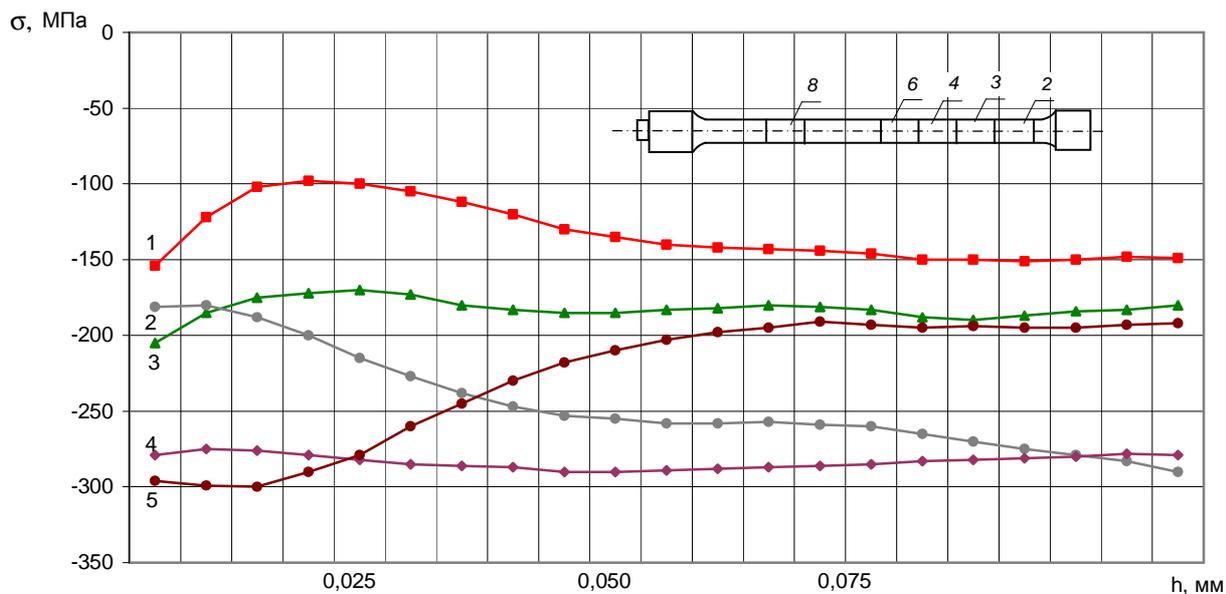


Рис.5. Изменение тангенциальных технологических остаточных напряжений σ по глубине поверхностных слоев h стержня торсионного вала, подвергнутого дробеметному упрочнению и обкатыванию: 1 - образец 3; 2 - образец 6; 3 - образец 2; 4 - образец 4; 5 - образец 8

Выводы

1. Базовый технологический процесс изготовления торсионных валов не гарантирует получения по всей поверхности стержня и галтелей вала, необходимых по условию эксплуатации сжимающих остаточных напряжений достаточной величины;
2. Для обеспечения формирования сжимающих остаточных напряжений на всей поверхности стержня и галтелей необходимо исключить из технологического процесса изготовления торсионного вала шлифовальные операции;
3. Изготовление поверхностей стержня и галтелей торсионных валов по маршруту: «точение – термообработка – упрочнение дробью – заневоливание – обкатка – заневоливание» обеспечивает за счет формирования сжимающих остаточных напряжений, а также исключения характерных дефектов шлифования увеличение усталостной прочности валов по сравнению с требуемой в пределах 3,5...6 раз.

Список литературы

1. Блурцян Д.Р., Блурцян Р.Ш., Блурцян И.Р. Технологические особенности формирования остаточных напряжений в поверхностных слоях торсионных валов при обкатывании. //Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 1. – С.17-20.

2. Блурцян Д.Р., Блурцян Р.Ш., Залазинский М.Г., Селихов Г.Ф., Блурцян И.Р. Исследование усталостной прочности торсионных валов, изготовленных с использованием технологии горячего изостатического прессования //Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2008. – № 5. – С. 126-128.
3. Блурцян Д.Р., Блурцян Р.Ш., Залазинский М.Г., Селихов Г.Ф., Блурцян И.Р. Исследование усталостной прочности торсионных валов, обработанных без операций шлифования //Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2008. – № 5. – С. 128-130.
4. Блурцян Д.Р., Блурцян Р.Ш., Блурцян И.Р. Исследование возможностей повышения ресурса работы торсионных валов технологическими методами //Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 6. – С. 85-90.
5. Блурцян Д.Р., Блурцян Р.Ш., Блурцян И.Р. Исследование влияния режимов резания на качество поверхностей при врезном бесцентровом шлифовании // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 7. – С. 89-94.
6. Бабичев М.А. Методы определения внутренних напряжений в деталях машин. – М.: Изд. Академии Наук СССР, 1975.
7. Технологические остаточные напряжения / под ред. Подзая А.В. – М.: Машиностроение, 1979.

Рецензенты:

Соловьёв Д.Л., д.т.н., профессор кафедры автоматизированного проектирования машин и технологических процессов Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром;

Шпаков П.С., д.т.н., профессор кафедры автоматизированного проектирования машин и технологических процессов Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром.