

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Анализ текущего состояния разработки месторождения Тенгиз. ТШО, 2012.
- 2 Проект опытно-промышленной эксплуатации месторождения Тенгиз. СП «ТШО», 1996;
- 3 Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений / Ю.П. Желтов. – М., Недра, 1985. – 296 с.
- 4 Тайкулакова Г.С. Экономическая эффективность внедрения новой техники и технологических процессов / Г.С. Тайкулакова. – Алматы : КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2000. – 105 с.

ТҮЙІН

Мақалада әдебиеттер көздеріне шолу негізінде құбыраралық қысымдармен басқарудың негізгі тиімді тәсілдеріне және оларды жою тәсілдеріне келтірілген талдау жасалған. Құбыраралық қысымды басқарудың негізгі тәсілдері күнделікті бақылау және қысымды құрғату, ұңғыманың сағалық қондырғысының герметикалығын тексеру және қамтамасыз ету, ұңғыма тоқтатылған кезде сағалық қондырғыны бірігіп тексеру және зерттеу жұмыстарын жүргізу.

RESUME

On the basis of the literature review is made analysis and selection of optimal variant of the annular control pressures and their solutions. The main ways to control the annular pressure is a daily observation and bleed, inspection and maintenance of sealing the wellhead, joint maintenance work on the wellhead and research work during the shut-in.

УДК 621.789

Т. А. Балтаев, магистр техники и технологии, старший преподаватель кафедры «НГД и ТМС» Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уральск, РК

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКА В ПРОЦЕССЕ РЕЛАКСАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Аннотация

В данной работе приводятся сравнительные результаты исследования эффективности разработанной и исследованной авторами технологии виброотпуска и традиционной технологии стабилизации внутренних напряжений – низкотемпературного отпуска.

В результате исследования, выявлена очевидная эффективность применения ультразвукового оборудования относительно применяемого оборудования в существующей технологии. Техно-экономическая эффективность предлагаемой технологии стабилизации геометрических параметров деталей обуславливается обеспечением высокой производительности обработки. При высоком качестве обработки данный способ гарантирует отсутствие остаточных деформаций детали, повреждение ее наружной поверхности и максимальное использование энергии ультразвуковых колебаний для обеспечения стабилизации геометрических параметров. Исследованная авторами технология снижает себестоимость изготовления детали за счет повышения производительности при сокращении машинного времени для заданных условий обработки относительно традиционных технологий стабилизации внутренних напряжений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России – Задание № 9.896.2014/К на выполнение НИР в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности

Ключевые слова: остаточные напряжения, ультразвуковая релаксация, вибромеханическая релаксация, ультразвук, релаксация, подпитники.

Технологические операции, направленные на формирование требуемых геометрических и физико-механических параметров формы и качества металлических изделий, неизбежно сопровождаются изменением их напряженно-деформированного состояния, вследствие чего возникают остаточные напряжения. В большей степени это относится к операциям с большими затратами энергии на упругопластическое и пластическое деформирование формы изделия. В частности возникновение значительных остаточных напряжений происходит при получении литых заготовок, проката, сварных изделий, при лезвийной обработке и обработке давлением.

В процессе эксплуатации изделий под действием рабочих нагрузок происходит перераспределение или релаксация остаточных напряжений, что приводит к изменению формы и качества слоя функциональной поверхности изделия. Эти изменения влекут за собой изменение режима и условий эксплуатации, и, как следствие, снижение надежности и срока службы изделий.

Особенно заметное влияние релаксация остаточных напряжений оказывает на изделия функционирующие в условиях циклических механических и температурных нагрузок. Такие изделия используются в различных видах современной техники, но наиболее высокие требования к качеству предъявляются в авиационной, космической, военной промышленности. В частности, остаточные напряжения являются одной из причин возникновения контактно-усталостного износа в подшипниках качения. Учитывая широкое применение подшипников в различных сферах народного хозяйства, можно сделать вывод о глобальном характере описанной проблемы [1].

С целью снижения негативного влияния остаточных напряжений на эксплуатационную надежность и качество изделий, в производстве на завершающих стадиях технологического процесса изготовления или сборки традиционно применяют термические методы, получившие наибольшее распространение. Однако недостатки термических методов, которые заключаются в больших затратах энергии, времени, высокой стоимости оборудования и низкой стабильности получаемых геометрических параметров изделий, в современных условиях рынка ставят перед необходимостью изучения альтернативных механизмов и разработки на их основе инновационных технологических методов релаксации остаточных напряжений.

Один из таких методов, применительно к различным по назначению металлическим изделиям, заключается в концентрации вибромеханических колебаний в зоне накопленных остаточных напряжений, что нашло подтверждение в работах Бабенко М.Г. и Слесарева С.В., выполненных под руководством А.В. Королёва. Согласно результатам экспериментальных исследований, представленных в этих работах, при использовании вибромеханического метода релаксации происходит существенное сокращение затрат времени и энергии при более стабильных результатах по геометрическим параметрам изделий в сравнении с термическими методами. Однако результаты, полученные для конкретных изделий, и наличие малого числа публикаций по данной теме, оставляют открытым вопрос о применимости вибромеханических методов релаксации остаточных напряжений в более общем случае для различных видов изделий и условий их эксплуатации. Для решения этой задачи необходима разработка методологии релаксации остаточных напряжений на основе использования вибромеханической энергии, что требует проведения более глубоких и разносторонних исследований в данной области.

Одним из основных факторов, приводящих к снижению первоначальной точности изделий, является неуправляемая релаксация остаточных напряжений, неизбежно возникающая в соответствии с законами теории ползучести в процессе их эксплуатации. Увеличение отклонений формы и изменения размеров изделий, вызываемое релаксацией напряжений, неизбежно приводит к снижению надежности и уменьшению срока службы изделий, снижению их эксплуатационных свойств. Даже казалось бы незначительное изменение напряжений, а следовательно и геометрических параметров изделий, в течение определенного интервала времени приводит к резкой потере точности этих изделий, а затем и машины в целом. Иногда осуществляется поломка изделий, когда остаточные напряжения в изделиях суммируются с напряжениями, возникающими в процессе их эксплуатации.

Известно, что напряжения в изделиях возникают в процессе их изготовления при получении заготовок деталей, при их механической обработке, при термической обработке, при

сборке изделий и суммируются в готовом изделии. Чтобы избежать потери качества изделий в процессе эксплуатации, производители техники, к которой предъявляются высокие требования надежности и долговечности, осуществляют релаксацию остаточных напряжений на заключительных стадиях их изготовления.

Из известных способов уменьшения или устранения остаточных напряжений и стабилизации размеров для прецизионных изделий точных приборов наибольшее применение имеет термическая обработка — отжиг и старение. Основными недостатками этих существующих технологий релаксации являются следующие: а) большие затраты энергии; б) их низкая производительность; в) длительность цикла обработки; г) необходимость использования дорогостоящего оборудования (печей) для осуществления обработки; д) большие потребные производственные площади; е) высокая квалификация обслуживающего персонала; ж) тяжелые условия труда; з) отрицательное воздействие на окружающую среду и др. Все перечисленные недостатки приводят к резкому необоснованному удорожанию изделий и не гарантируют при этом высокое качество. Именно поэтому продолжаются поиски эффективного способа снятия остаточных напряжений.

Цель работы — исследование эффективности технологии виброотпуска и традиционной технологии стабилизации внутренних напряжений — низкотемпературного отпуска.

Методы исследований. Сотрудниками ООО НПП НИМ (г. Саратов) и ЗКАТУ им. Жангир хана разработана эффективная технология ультразвуковой релаксации остаточных напряжений в деталях типа колец [2-4]. Сущность данной технологии заключается в том, что обрабатываемая заготовка подвергается упругой деформации на определенную величину, а от специальной ультразвуковой установки ей дополнительно контактным способом сообщаются ультразвуковые колебания.

Основные результаты. Испытания способа релаксации остаточных напряжений [4] проводились на кольцах 206-01Б, взятых после операции шлифования по наружному и внутреннему диаметрам и предварительного шлифования желоба.

Согласно разработанной методике исследований в качестве исследуемых факторов принимались:

D_k — наружный диаметр колец;

V_k — отклонения от некруглости желоба по наименьшему диаметру;

H_m — твердость материала.

Ультразвуковая обработка колец проводилась в лаборатории ООО НПП НИМ на опытной установке для проведения МЭР по отработке технологии стабилизации. При этом сравнивали три группы колец, из которых 1-ю группу колец обрабатывали по заводской технологии дополнительного отпуска (отпуск при температуре 150°C в печи в течение 3-х часов), 2-ю группу колец обрабатывали по усредненным режимам ультразвуковой обработки и 3-ю контрольную группу не подвергались никаким видам обработки.

Для определения величины остаточных напряжений была принята следующая методика. В исследуемых образцах (кольцах) измеряли наружный диаметр с точностью до 1 мкм. Затем кольца разрезали и измеряли их наружный диаметр в плоскости, перпендикулярной резу. При этом, под действием внутренних напряжений, имеющихся в материале кольца, величина его наружного диаметра изменялась — уменьшалась или увеличивалась в зависимости от знака напряжения до положения статического равновесия [5].

После разрезания кольцо представляет собой упругий элемент, характеризующийся величиной жесткости. Определив жесткость кольца и зная величину изменения его наружного диаметра, можно подсчитать величину остаточных напряжений в материале кольца.

Жесткость колец определяли экспериментально на установке для определения коэффициентов трения в материалах. Работа проводилась в лаборатории кафедры деталей машин СГТУ. На основании усредненных значений величины изменения наружного диаметра после разрезки колец с учетом усредненной величины жесткости колец, вычислены величины действующих нагрузок и напряжений в материале колец по всем группам образцов.

В таблице 1 приведены значения средних величин контролируемых параметров и остаточных напряжений в кольцах после дополнительного отпуска, ультразвуковой стабилизации на средних режимах и в кольцах контрольной группы.

Таблица 1 – Средние величины контролируемых параметров и остаточных напряжений после различных видов обработки

Обработка	Параметры					
	Изменение наружн. диаметра ΔD , мкм	Изменение некругл. ΔV , мкм	Изменение твердости ΔH , HRC ₃	Разность диаметров до и после разрезки ΔD , мкм	Сила от внутренн. напряжений, Н	Величина внутренн. напряжений σ , Н/мм ²
Отпуск в печи при 150°C в течение 3-х часов	0.0017	0.48	-0.19	-16.66	4.298	12.39
Ультразвуковая обработка: $\delta=0.3$ мм; $A=10$ мкм; $t=15$ с	0.00	0.263	0.00	-10.66	2.455	7.5
Контрольная группа (не обработанные)	0.0001	0.086	-0.18	-21.6	5.302	15.30

Из таблицы 1 следует, что ультразвуковая обработка обеспечивает лучшие показатели по всем, принятым в программе, контролируемым показателям:

- после ультразвуковой обработки величина наружного диаметра кольца не изменяется, тогда как после дополнительного отпуска увеличивается в среднем на 1-2 мкм;
- по сравнению с дополнительным отпуском после ультразвуковой обработки отклонение от круглости колец уменьшается в 1.8 раза;
- ультразвуковая обработка повышает твердость материала кольца в среднем на 0.18-0.19 единиц HRC₃ по сравнению с дополнительным отпуском и контрольной группой колец соответственно;
- ультразвуковая обработка обеспечивает более эффективное снятие напряжений (в среднем в 1.41 раза) по сравнению с дополнительным отпуском (таблица 2).

Таблица 2 – Расчет капитальных и эксплуатационных затрат на релаксацию напряжений в деталях типа колец подшипников размером 100x20мм при годовом объеме выпуска 2500 тыс. шт.

№ п/п	Наименование показателей	Печь НКО.10.12.10/4,5М	Ультразвуковое оборудование УЗР-12	Эффективность УЗК-12, %
1.	Рыночная цена, руб	910600	720000	26
2.	Потребное количество оборудования (2 смены), шт.	2	1	100
3.	Занимаемая площадь, кв.м	2,2	1,5	47
4.	Производительность при размерах изделий 100x100x20мм, шт/час	420	720	70
5.	Потребляемая мощность, кВт	62	3	2000
6.	Расход энергии, кВтч/1000шт	146,8	4,2	3400
7.	Расход энергии на годовой объем выпуска изделий 2500 тыс. шт. при цене 4,8 руб./кВтч, руб/год	1761792	50112	3400

Заключение (выводы). Следует подчеркнуть, что технология вибромеханической релаксации остаточных напряжений, основанной на применении энергии ультразвука, обладает уникальным свойством: она обеспечивает одновременно и более эффективное снижение остаточных напряжений и меньшую деформацию детали в процессе релаксации, сохранение ее исходной геометрической формы [6].

Технология вибромеханической релаксации остаточных напряжений, основанной на применении энергии ультразвука, обеспечивает высокий экономический эффект в сфере машиностроительного производства. Так, в настоящее время для релаксации напряжений к деталям типа колец подшипников применяется низкотемпературный отпуск в электропечах. Но при этом затрачивается большое количество электроэнергии. Вибромеханическая релаксация остаточных напряжений, основанная на применении энергии ультразвука, отличается относительным высоким энергосбережением. В качестве примера в таблице 2 приведено сравнение различного вида затрат на релаксацию остаточных напряжений по традиционной и по предлагаемой ультразвуковой технологиям [7].

Как видно из таблицы, по всем показателям ультразвуковое оборудование превосходит существующее. Резко снижаются капитальные затраты, повышается производительность обработки, снижаются потребные производственные мощности, резко, в несколько десятков раз, снижаются затраты электроэнергии. В результате этого не только для вновь создаваемых предприятий, но и для действующих предприятий экономически выгодно приобрести ультразвуковое оборудование и за счет экономии только одной электроэнергии менее, чем за один год, окупить затраты на его приобретение [8-9].

Таким образом, технология вибромеханической релаксации остаточных напряжений, основанной на применении энергии ультразвука, позволяет эффективно заменить традиционный способ релаксации в печах и обеспечивает существенное снижение трудоемкости изготовления деталей, снижение энергозатрат и повышение качества обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Королев А.В., Чистяков А.М., Кривега В.А., Моисеев Г.Н. Способ вибростарения деталей // Патент РФ № 2140842. 20.03.99. Бюл. №8
- 2 Королев А.В., Королев А.А. Способ релаксации остаточных напряжений // Патент RU № 2478031. 27.05.2011. Бюл. №2
- 3 Королев А.В., Королев А.А. Способ релаксации остаточных напряжений // Патент RU № 2447110. 10.05.2011. Бюл. №2
- 4 Королев А.В. Технология виброобработки деталей подшипников / А. В. Королев, А.М. Чистяков, В. А. Кривега, В. Г. Моисеев // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: Межвуз. науч. сбор. – Саратов, СГТУ, 1997. – 4-11 с.
- 5 Колбасеиков Н.Г. Теория обработки металлов давлением. Сопротивление деформации и пластичность / Н.Г. Колбасеиков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 314 с.
- 6 Михайлов О.Н. Метод отверстия / О.Н. Михайлов // Остаточные напряжения в заготовках и деталях крупных машин. Свердловск.: НИИ ТЯЖМАШ, 1971. – С. 3-34.
- 7 Слесарев С.В. Совершенствование технологии стабилизации остаточных напряжений в прецизионных деталях типа колец подшипников на основе применения ультразвуковой энергии : Дисс. канд. техн. наук. – Саратов, 2006. – 174 с.
- 8 Бабенко М.Г. Ультразвуковая технология уменьшения напряжений в деталях машин / М.Г. Бабенко, В.В. Болкунов // Проблемы и перспективы прецизионной механики и управления в машиностроении: сб. докл. Междун. науч.-техн. конф. – Саратов : СГТУ, 1997. – С. 106-107.
- 9 Бабенко М.Г. Совершенствование технологии обеспечения размерной точности прецизионных деталей типа колец подшипников на основе ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений : дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2002. – 147 с.

ТҮЙІН

Бұл жұмыста вибрациялық өңдеу және ішкі кернеуді тұрақтандырудың дәстүрлі технологиясының салыстырмалы тиімділігін зерттеу нәтижелері - төмен температурамен қыздыруда келтірілген.

RESUME

This paper presents the results of comparative research on the effectiveness of technology developed by the authors vibration removal and traditional technology of stabilization of internal stresses - low temperature tempering.