

УДК 621.048.035

Козлов А.А., Комлев Р.В.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СУЩНОСТИ ПРОЦЕССА
КОМПЛЕКСНОГО ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ
ТЕРМОСИЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ ДЛИННОМЕРНЫХ ВАЛОВ.**

Тольяттинский государственный университет,

Тольятти, Белорусская, 14, 445667

Kozlov A.A., Komlev R.V.

**THEORETICAL ANALYSIS OF THE PROCESS SUSTAINABLE
INTEGRATED VIBRATION EXPOSURE AT THERMOPOWER
HANDLING OF LONG SHAFTS.**

Togliatti state university,

Togliatti, Belorusskaya, 14, 445667

Аннотация. В данной статье рассмотрены теоретические аспекты применения продольных и крутильных колебаний в процессе термосиловой обработки длинномерных валов.

Abstract. This article deals with the theoretical aspects of the application of longitudinal and torsional vibrations in the thermo-treatment of long shafts.

Ключевые слова: длинномерные валы, термосиловая обработка, комплексные колебания.

Keywords: long-length shafts, thermal-processing, complex oscillations.

Вступление.

В машиностроении, энергетике, судостроении и т.д находят широкое применение длинномерные валы, т.е. такие валы у которых отношение длины к диаметру более 10. В силу своей геометрии такие детали являются маложесткими, а следовательно в значительной мере подвержены короблению. С целью снижения коробления разработан специальный метод искусственного

старения под названием «Термосиловая обработка» (ТСО). Сущность метода состоит в том, что заготовку перед термообработкой помещают в специальное приспособление и вместе с ним помещают в печь, при термообработке приспособление сообщает обрабатываемой детали осевое растягивающее усилие, выше предела упругости материала обрабатываемой детали. В результате происходит равномерное распределение остаточных напряжений по длине и поперечному сечению детали, а их уровень существенно снижается.

Однако, на финишном этапе ТСО - разгрузке, могут появиться, новые остаточные напряжения за счёт несовместимости упругих и пластических деформаций.

Обзор литературы.

Вибрационное воздействие на деталь с целью получить равномерное распределение напряжений, т.е. вызвать быстрое "старение" детали имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами создания устойчивой формы.

Использование резонансного поглощения энергии, с одной стороны, дает возможность концентрированного поглощения энергии дефектами и различными неоднородностями, а с другой, может быть использовано как сигнал управления процессом.

Независимо от физической природы поглощения энергии, внешнее проявление его в материале или конструкции наблюдается в виде петли гистерезиса, образующейся при вынужденные колебаниях.

Форма петли зависит от многих факторов, но достаточно ограничиться определением ее площади, так как именно площадь петли гистерезиса характеризует энергию, рассеянную в материале, которая ограничивает величину амплитуды резонансных колебаний. Логарифмический декремент затухания можно определить экспериментально по известной формуле:

$2\lambda = \Delta A / A$, здесь ΔA и A - энергия рассеянная и её амплитудное значение за цикл колебаний.

Очевидно, что вибрационное воздействие может привести к структурной перестройке, т.е. к изменению напряжений первого рода в области

пластичности; в этой области поглощение будет максимальным. Необходимый рабочий режим создастся за счет внешнего растягивающего напряжения.

Основной текст.

Для определения параметров петли необходимо исследовать колебания системы с одной степенью свободы при однородном распределении напряжении по объему упругого элемента.

$$X + \omega^2 x + 2\beta x = P/m \cdot \cos pt \quad (1)$$

где $\omega = \omega_0 + \xi^* C_1$, $\beta = \xi^* D_1$

ω_0 - собственная частота системы без учета неупругого сопротивления, C_1 , D_1 - нелинейные поправки, ξ^* - малый параметр. Величины C_1 , D_1 можно выразить через параметры петли гистерезиса, P - частота внешней силы F , m - масса.

Решение (1) дает трансцендентное уравнение, определяющее значение амплитуды от параметров внешнего воздействия и от исходного состояния материала:

$$x = e^{-(x/y)^2(1-a)} \quad (2)$$

где: $x = \lambda \frac{\dot{\varepsilon}}{\omega \varepsilon_{nl}}$; $y = P/m(\rho/\sigma_{02})^{1/2}$; $a = \sigma/\sigma_{02}$,

Вибрационное воздействие вызывает перемещение дислокации и связанных с ними напряжений второго рода в области нагрузок, меньших предела упругости.

Обычно для конструкционных сталей существенное понижение прочностных характеристик, нежелательное для эксплуатации, происходит после нагрева до $T^\circ = 330-350^\circ\text{C}$, т.е. выше значения $0,25 T_{пл}$, поэтому, чтобы сохранить прочностные характеристики материала изделия (вала) после виброобработки и охлаждения, нагрев до температуры выше 350°C нежелателен. Кроме того, вибрационная обработка при высокой температуре может привести к локальным деформациям изделия под действием приложенных динамических напряжений, что при охлаждении приводит к

появлению локальных напряженных областей. Кроме этого известно, что вибрационный процесс в несколько раз сокращает время релаксации напряжений, а следовательно, повышает производительность ТСО.

Для предотвращения появления локальных деформаций изделия под действием приложенных динамических напряжений, для сокращения времени релаксации напряжений, для формирования более равномерного распределения остаточных напряжений в материале изделия, на режиме разгрузки ТСО целесообразно приложить к изделию комплексные колебания. Комплексные колебания включают в себя продольные колебания, в виде вибраций (описанные выше) и прикладываемые с обоих концов изделия крутильные колебания, сдвинутые по фазе друг относительно друга на 180^0 . Тогда, уравнение (3) превратится в систему уравнений, описывающих комплексные колебания:

$$\begin{aligned} X &= X_{max} \cdot \cos \omega t \\ \varphi &= \varphi_{max} \cdot \cos \omega_K t \\ \varphi_1 &= \varphi_{1,max} \cdot \cos(\omega_{K1} t + \pi) \end{aligned} \quad (3)$$

где X_{max} – амплитуда продольных колебаний;

$\varphi_{max}, \varphi_{1,max}$ – амплитуды крутильных колебаний;

φ, φ_1 - углы закручивания;

ω_K, ω_{K1} - частота крутильных колебаний;

π - угол сдвига фаз крутильных колебаний.

Первое уравнение системы уравнений (3), описывает в примитивной форме продольные колебания. Уравнения два и три системы уравнений (2), описывают крутильные колебания, прикладываемые попеременно с обоих концов изделия. Крутильные колебания, прикладываемые попеременно с обоих концов изделия, отличаются по фазе на 180^0 (π) с целью предотвращения формирования неравномерности распределения остаточных напряжений в материале изделия от действия крутильных колебаний.

Заключение и выводы.

Таким образом, применение комплексного вибрационного воздействия на финишном этапе ТСО, позволяет существенно понизить уровень остаточных напряжений в материале длинномерного вала, равномерно их распределить по длине и поперечному сечению изделия, и как следствие устранить коробление.

Литература:

1. Воронов Д.Ю., Драчев О.И. Пути снижения коробления маложестких валов, путем применения термосиловой обработки. – М.: Журнал «Машиностроитель», № 6, 2001 год.
2. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А.. Новая технология термосиловой обработки маложестких валов. – М.: Журнал «Известия» №1, стр. 32-35. Волгоград 2004 год.
3. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А.. Экспериментальная установка для равномерного осевого пластического деформирования маложестких деталей при термосиловой обработке. – М.: Журнал «Известия» №9, стр. 15-18. Волгоград 2004 год.
4. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А.. Устройство для термосиловой обработки. Патент на изобретение от 12.05.2003. № 2232198.
5. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А.. Способ термосиловой обработки длинномерных осесимметричных деталей и устройство для его осуществления. Патент на изобретение от 19.12.2003. № 2254383.
6. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А. Устройство для термосиловой обработки осесимметричных деталей. Патент на изобретение от 20.09.05. № 2260628.
7. Воронов Д.Ю., Шевелев И.В. Физическая сущность процессов протекающих при термосиловой обработке маложестких деталей типа «вал». – М.: «Проблемы проектирования и автоматизации машиностроительных производств». Сборник научных трудов. Волгоградский государственный технический университет; ЗАО «ОНИКС». Волгоград, Тольятти, Ирбит 2013.

8. Воронов Д.Ю., Логинов Н.Ю., Шевелев И.В. Обзор существующих и перспективные тенденции развития технологий изготовления маложестких длинномерных валов. – М.: «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2012» Сборник научных трудов SWorld. Международной научно-практической конференции. Выпуск 3. Том 8. Одесса 2012.

9. Воронов Д.Ю., Репин К.А., Шевелев И.В. Разработка функциональной схемы системы автоматизированного управления термосиловой обработки многоступенчатых маложестких валов. – М.: Сборник научных трудов SWorld Международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013»; Одесса, 2013.

10. Воронов Д.Ю., Репин К.А., Шевелев И.В. Описание конструкции и принципа работы лабораторной установки для проведения экспериментальных исследований по термосиловой обработке длинномерных маложестких деталей. – М.: Сборник научных трудов SWorld. Международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013»; Одесса, 2013.

11. Воронов Д.Ю., Репин К.А., Шевелев И.В. Обзор существующих и перспективные тенденции развития технологий изготовления ходовых винтов. – М.: Сборник научных трудов SWorld Международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013»; Одесса, 2013.

Статья отправлена: 2.12.2015г.

© Козлов А.А., Комлев Р.В.