

SUMMARY

As a result of the carried out explorations the temperature field of a detail is obtained, the warping of a detail is calculated at the given condition to heat treatment, is detected, that at heat treatment of not rigid planar details it is impossible to receive a necessary exactitude without acceptance of measures on a drop of a warping.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов В.В. Напряжения и деформации при термической обработке стали. - Киев: Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1985. - 133с.

Поступила в редколлегию 16 декабря 2002г.

УДК 621.791:539.374.4

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ

Л.П. Колот, доц.; А.В. Павленко, асп.

(Донбасская государственная машиностроительная академия)

Технический прогресс в машиностроении характеризуется непрерывным совершенствованием технологии производства машин и механизмов. Тенденция к снижению металлоемкости изделий машиностроения приводит к созданию маложестких конструкций деталей с высокими требованиями к точности их формы. В общей номенклатуре изделий машиностроения детали типа тел вращения занимают около 40%, значительную часть которых составляют нежесткие валы: ходовые винты, пинолы и шпиндели металлорежущих станков, скалки и оси, стойки, валы, поршни, ролики, штанги и тяги, стволы огнестрельных орудий, гребные и трансмиссионные валы и т.д. Критерием жесткости валов принято считать значение отношения их общей длины l к диаметру d :

$$K = \frac{l}{d}. \quad (1)$$

Автор [1] считает нежесткими валы, у которых это отношение больше 12, по мнению других исследователей [2,3], — больше 10, но в условиях производства нежесткими считаются валы, имеющие значение этого отношения не менее восьми. Так, автор [4] считает, что при одинаковом отношении длины к диаметру жесткость вала возрастает с увеличением последнего, а также, что она должна оцениваться во взаимосвязи с жесткостью узлов станка. Автор [2] полагает, что максимальная точность обработки будет обеспечиваться не максимальной жесткостью вала, а минимумом в разности жесткости вала и узлов станка. Существующие разработки в области изготовления, контроля и применения комплекса технологического оснащения носят противоречивый характер. Процесс получения заготовок, термическая и механическая обработка деталей представляет значительные трудности по причине образования остаточных деформаций изгиба, величина которых выходит за пределы установленных допусков. Остаточные деформации образуются из-за негативного влияния многочисленных факторов на протяжении всего цикла изготовления деталей. При получении заготовки — анизотропия физико-механических свойств и напряженно-деформированного

состояния в очаге деформации, трение на поверхности контакта «заготовка—боек», разность тензоров внутреннего и внешнего температурных полей. При термической обработке— неравномерность релаксации поля остаточных напряжений, перепад температур при нагреве или охлаждении различных по площади поперечного сечения участков, фазовые превращения, неравномерно протекающие внутри заготовки в местах концентрации остаточных напряжений, неоднородность по объему химического состава. Величина остаточной деформации, образующейся после проведения механической обработки, напрямую связана с упруго-пластической податливостью детали от сил закрепления и резания. Автор [5] отмечает, что на остаточные деформации при базировании и закреплении влияют технологические и конструкторские факторы. К технологическим относятся: схема базирования и закрепления, номинальная площадь контактных поверхностей, точностные параметры баз, величина и соотношение сил закрепления, направление их действия. К конструкторским относятся: жесткость вала, поверхностная и внутренняя твердость и материал детали. Автор [4] предлагает аналитическую зависимость для определения прогиба вала под действием сил резания:

$$f = \frac{P \cdot l^3}{120 \cdot E \cdot J}, \quad (2)$$

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64}, \quad (3)$$

где P — результирующая сила резания, Н; l — длина вала, мм; E — модуль упругости, МПа; J — осевой момент инерции, мм⁴; d — диаметр вала, мм. Точность геометрической формы и размеров, достигаемая во время механической обработки, снижается после раскрепления детали. Основной причиной образования остаточной деформации после механической обработки является перераспределение остаточных напряжений в имеющейся до обработки равновесной системе. При этом исследовании [5,6] выделяют два основных фактора: появление остаточных деформаций в результате снятия припуска с заготовки, имеющей остаточные напряжения, появление остаточных деформаций в результате формирования остаточных напряжений на данной операции вследствие неоднородной пластической деформации вновь образованного слоя. Первый фактор представляет собой проявление технологической наследственности. Величина остаточной деформации, полученная непосредственно после механической обработки, является непостоянной. По данным [4,5], уровень остаточных напряжений после механической обработки на различных участках детали неодинаков, но их система, переходя в равновесное состояние, вызывает, согласно закону Герстнера, упругую остаточную деформацию вала. С течением времени остаточные напряжения равновесной системы релаксируют, что сопровождается переходом упругих деформаций в пластические. В связи с тем, что степень релаксации прямо пропорциональна величине остаточного напряжения на конкретном участке детали, пластическая деформация вала лишена изотропности, что приводит ко вторичному короблению детали после лезвийной обработки. Вследствие наличия большого количества факторов, влияющих на точность обработки нежестких валов, для решения проблемы необходим системный подход. В своей основе он имеет следующие нормы: остаточные напряжения должны быть адекватны стадиям технологического процесса, на каждой из которых

должен быть регламентированный метод контроля. Исходя из этого, выделяются способы уменьшения остаточных напряжений:

- литейных — снижение скорости и достижение равномерности охлаждения всех участков отливки, обеспечение наследственной мелкозернистости с помощью выплавки стали в электропечах с обеспечением полного раскисления;
- ковочных — изменение геометрии поковки путем уменьшения количества уступов; изменение способаковки: уменьшение числа подогревов, проведениековки последовательно, на всю длину, начиная от цапфы; уменьшение несплошности осевой зоны поковки: применяя подкладные пластины, бойки с гиперболической рабочей поверхностью, осуществлениековки с предварительным охлаждением поверхности (для крупных поволоков); осуществлениековки с предварительным охлаждением поверхности (для крупных поволоков), автоматизация процессаковки;
- термических — повышение равномерности нагрева под закалку, защита флюсом тонких сечений, смягчение закалочной среды, уменьшение скорости охлаждения, снижение количества остаточного аустенита при понижении эксплуатационных температур детали, снижение температуры нагрева под закалку, увеличение скорости нагрева, что приводит к образованию более мелкозернистой структуры, уменьшение общего числа термообработок.

При механообработке и на финишных операциях методы снижения остаточных напряжений связаны с уменьшением объема зоны распространения наклепа, возникающего от пластической деформации реза или круга, а также уменьшением степени нагрева зоны резания обрабатываемого вала. На стадии механической обработки остаточными напряжениями управляют путем: снижения подачи и глубины резания, уменьшения радиуса закругления режущей кромки, увеличения скорости резания, увеличения расхода СОЖ в зоне резания, применения резцов с отрицательным передним углом, уменьшения заднего угла, снижения шероховатости режущих кромок. На финишных операциях стабилизации остаточных напряжений достигают путем применения ультразвуковой, вибрационной обработок и метода малых пластических деформаций, а именно: правка растяжением, холодное обжатие, поверхностный наклеп. Эти методы могут применяться как в качестве отдельной операции технологического процесса, так и заменять релаксирующую термическую обработку при невозможности ее выполнения. Упругость технологической системы СПИД приводит к появлению деформации в процессе обработки, которая обуславливает возникновение случайных и систематических погрешностей размеров и геометрической формы обрабатываемых деталей. На точность обработки нежесткого вала как при лезвийной, так и при абразивной обработке влияют следующие факторы: геометрические погрешности узлов станка, жесткость системы СПИД, способ установки детали на станке, износ режущего инструмента, температурное поле. Причинами возникновения геометрических погрешностей станка, по данным исследований [2,3], являются: погрешности обработки базовых деталей станка, износ направляющих, или их непрямолинейность в горизонтальной плоскости, неточность установки и сборки узлов станка. Основной, с точки зрения обеспечения точности обработки нежестких валов, является проблема адекватности жесткости рабочих узлов станка жесткости детали. Ее решением является достижение инвариантной податливости вала по всей длине во время обработки. Автор [4] выделяет два метода повышения точности обработки нежестких валов: смещение задней бабки в сторону «от рабочего», при котором линия центров

оказывается непараллельной направляющим станины, выравнивание жесткости станка с жесткостью обрабатываемой детали (изменение величины вылета пиволи и применение задних центров различной жесткости). Существенное влияние на жесткость СПИД и соответственно на точность обработки оказывают также следующие факторы: величина зазора в подвижных узлах, плотность прилегания и качество контактных поверхностей (необходимо повышать плотность прилегания контактных поверхностей, увеличивать площадь опорных поверхностей, снижать их количество), режим резания (нужно увеличивать частоту вращения детали и применять реверсивную обработку), направление рисков шероховатости (должно быть разнонаправленным для переходных посадок и посадок с натягом, однонаправленным — посадок с зазором), вибрация (нужно уменьшать величину сил инерции и их моментов с помощью статической и динамической балансировки детали и шлифовального круга, оптимизации параметров режима резания, применения люнетов-виброгасителей). Способ установки детали на станке должен обеспечивать совмещение установочной и технологической баз (установка в центрах с обеспечением минимального удельного давления в зоне контакта детали и зажимных элементов). Повышение точности обработки, связанное с износом режущего инструмента, достигается: заменой режущих пластин из минералокерамики и ВК сплавами группы ТК, увеличением заднего угла α в диапазоне средних скоростей ($V=100-200$ м/мин) и уменьшением в диапазоне высоких скоростей ($V>200$ м/мин), применением контроллеров состояния рабочих кромок реза, увеличением ширины режущей кромки. Влияние температурного поля на точность обработки целесообразно устранять при помощи обильного охлаждения СОЖ зоны резания, а также проведением обработки в термоконстантных отделениях с правильно организованной приточно-вытяжной вентиляцией и изолированием экранами источников тепловыделения и увеличения площади их охлаждения, а также чередованием операций с большим и меньшим нагревом детали. С учетом вышеперечисленных факторов построена математическая модель упругой деформации вала, показывающая степень влияния на точность обработки податливости системы СПИД. Уравнение упругой линии вала от действия осевой силы резания имеет следующий вид:

$$Y(x) = \frac{P_y \cdot x \cdot l}{10 \cdot d^3} \cdot \left(2 \cdot \frac{x^2}{l^2} - 3 \cdot \frac{x}{l} + 1 \right), \quad (4)$$

где P_y — составляющая силы резания, Н; x — расстояние от режущего инструмента до задней бабки, мм. Зависимость упругой деформации вала от действия осевой силы резания приведена на рисунке 1.

Податливость вала в выровненной $E(x)$ и невыровненной $\varepsilon(x)$ системах СПИД, приведенная на рисунке 2, описывается уравнениями:

$$E(x) = \frac{x^2 \cdot (l-x)^2}{3 \cdot d^4 \cdot l} + \left(1 - \frac{x}{l} \right)^2 \cdot 0,33 \cdot \left(\frac{l^3}{12 \cdot d^4} + \varepsilon_n \right) + \frac{x^2}{l^2} \cdot \varepsilon_n + \varepsilon_c, \quad (5)$$

$$\varepsilon(x) = \frac{x^2 \cdot (l-x)^2}{3 \cdot d^4 \cdot l} + \left(1 - \frac{x}{l} \right)^2 \cdot \varepsilon_3 + \frac{x^2}{l^2} \cdot \varepsilon_n + \varepsilon_c, \quad (6)$$

где ε_c — податливость суппорта, мм/Н; ε_3 и ε_n — податливости задней и передней бабок, мм/Н. Упругая деформация от действия радиальной силы резания, представленная на рисунке 3, описывается уравнениями:

$$\varepsilon_{з-выр} = 2 \cdot \left[\varepsilon\delta + 3 \cdot \frac{\varepsilon\lambda}{4} + \frac{\varepsilon\eta}{4} - \sqrt{\left(\left[\varepsilon\delta + 3 \cdot \frac{\varepsilon\lambda}{4} + \frac{\varepsilon\eta}{4} \right]^2 - \left[\varepsilon\delta + \frac{\varepsilon\eta}{4} \right] \cdot \varepsilon\lambda \right)} \right], \quad (7)$$

$$\tau(x) = \frac{\left[2 \cdot \left(1 - \frac{1}{4} \cdot \left(1 + \frac{x^2}{l^2} \right) \right) \cdot \varepsilon\delta \cdot \frac{x}{l} + \varepsilon_{з-выр} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{x}{2l} \right) + \frac{x}{4l} \cdot \varepsilon\eta \right]}{\varepsilon\delta + \varepsilon\lambda + \frac{(\varepsilon_{з-выр} + \varepsilon\eta)}{4}}, \quad (8)$$

$$A(x) = \left[\left(1 - \frac{x}{l} \right)^2 \cdot \varepsilon_{з-выр} + \frac{x^2}{l^2} \cdot \varepsilon\eta \right] \cdot (1 - \tau(x)) + \varepsilon\delta, \quad (9)$$

$$B(x) = P_y \cdot \left[\frac{l^3}{12d^4} \cdot \left(1 - \frac{x}{l} \right)^2 \cdot 2 \frac{x}{l} - \tau(x) \cdot \left(\frac{3}{8} - \frac{x^2}{2l^2} \right) \right] + A(x), \quad (10)$$

где $\varepsilon\delta$ - податливость вала в точке установка люнета; $\varepsilon\lambda$ - податливость люнета.

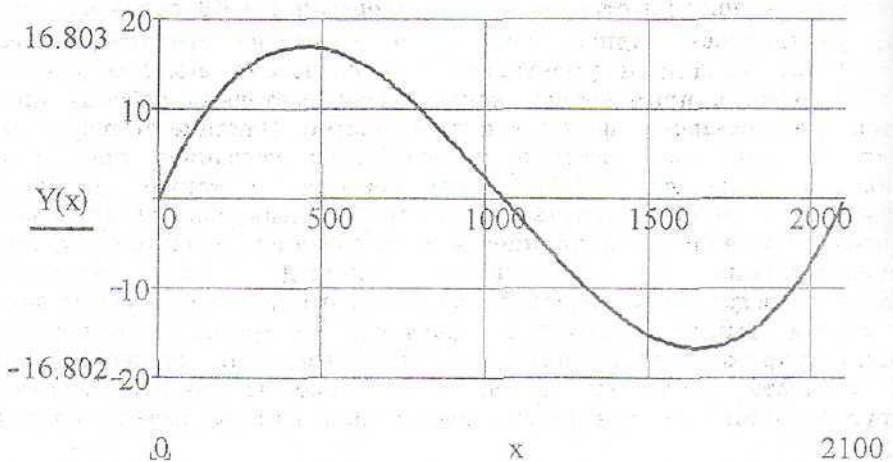


Рисунок 1 - Упругая деформация вала от действия осевой силы резания

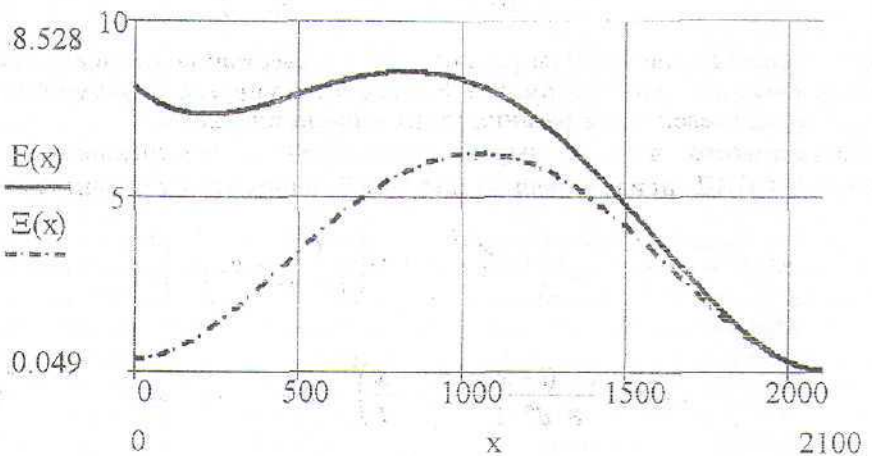


Рисунок 2 - Податливость вала в выровненной $E(x)$ и невыровненной $\Xi(x)$ системах СПИД

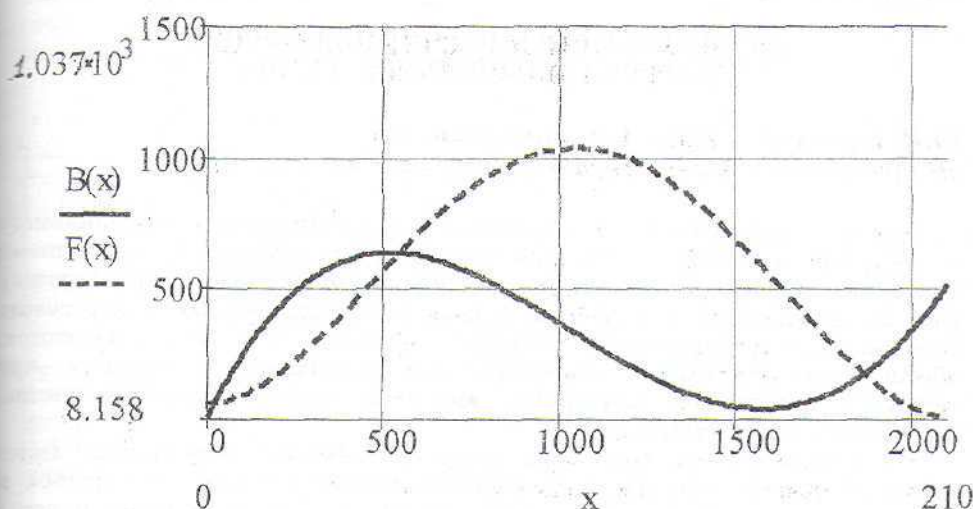


Рисунок 3 – Упругая деформация вала от действия радиальной силы резания в выровненной системе $B(x)$ с применением неподвижного люнета и в выровненной системе $F(x)$ без люнета.

SUMMARY

In the given operation the system approach to maintenance of an exactitude of processing of rigid rotors is considered. In the uncovered correlation of elastic-plastic deformations and residual voltages is imaged main influence last on an exactitude of processing with allowance for of technological heredity and the methods of their strategic regulation are revealed. With allowance of set forth above factors the mathematical model an elastic strain of the shaft indicating degree of influence on an exactitude of processing of a compliance of a system «The machine tool — Adaptation — Tool — Details» is constructed.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воярский Л.Т., Коршиков Н.П. Технология изготовления деталей и сборки металлообрабатывающих станков и автоматических линий. — М.: Машиностроение, 1968. — 340 с.
2. Колев К.С. Точность обработки и режимы резания. — М.: Машиностроение, 1968. — 180 с.
3. Курсаков В.С. Точность механической обработки. — М.: Машигиз, 1961. — 380 с.
4. Подпоркин В.Г. Обработка жестких деталей. — М.; Л.: Машигиз, 1959. — 208 с.
5. Вишняков Я.Д., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. — М.: Металлургия, 1989. — 254 с.
6. Технологические остаточные напряжения / Под ред. А.В. Подзеля. — М.: Машиностроение, 1978. — 216 с.

Поступила в редколлегию 16 декабря 2002г.