

НАПРАВЛЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Онищук С. Г.

В статье рассматриваются вопросы повышения долговечности деталей машин с учетом жизненного цикла изделия. Применение методов комбинированной обработки позволяет сформировать свойства поверхности детали, такие как шероховатость, наклеп, остаточные напряжения. Учитывая технологическую наследственность можно определить перераспределение остаточных напряжений на протяжении технологического процесса с применением теории графов. Построены граф-схемы формирования остаточных напряжений и деформаций при обработке стенок корпусных деталей. Исследовано влияние режимов электромеханической обработки на состояние поверхностного слоя обрабатываемой корпусной детали. Получены математические модели, позволяющие определить остаточные напряжения и деформации с учетом технологической наследственности. Коэффициенты наследования определяются методом наименьших квадратов. Применение электромеханического фрезерования на черновом этапе способствует снижению остаточных деформаций на 15–20 %.

В статті розглядаються питання підвищення довговічності деталей машин з урахуванням життєвого циклу виробу. Застосування методів комбінованої обробки дозволяє сформувати властивості поверхні деталі, а саме шорсткість, наклеп, залишкові напруження. Враховуючи технологічну спадковість можна визначити перерозподіл залишкових напружень протягом технологічного процесу з використанням теорії графів. Побудовані граф-схеми формування залишкових напружень і деформацій при обробці стінок корпусних деталей. Досліджено вплив режимів електромеханічної обробки на стан поверхневого шару оброблюваної корпусної деталі. Отримані математичні моделі, що дозволяють визначити залишкові напруження та деформації з урахуванням технологічної спадковості. Коефіцієнти наслідування визначаються методом найменших квадратів. Застосування електромеханічного фрезерування на чорновому етапі сприяє зниженню залишкових деформацій на 15–20 %.

The article examines the increasing durability of machine parts taking into account the life cycle of the product. The use of combined treatment methods allows to form the workpiece surface properties such as roughness, hardening, residual stresses. Given the technological heredity can determine the redistribution of residual stresses throughout the process with the application of graph theory. Built-chart of the formation of residual stresses and strains in the processing of the walls of the housing parts. The effect of electro-mechanical modes of processing on the state of the surface layer of the treated housing part. The mathematical models to determine the residual stress and strain in view of technological heredity. Inheritance coefficients determined by least squares. The use of electro-mechanical milling on the draft stage reduces the residual strain by 15–20 %.

Онищук С. Г.

канд. техн. наук, доц. каф. ТМ ДГМА

tiup@dgma.donetsk.ua

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академи, г. Краматорск.

УДК 621.81

Онищук С. Г.

НАПРАВЛЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

В связи с созданием высокоскоростных агрегатов и машин, работающих в условиях больших нагрузок, возрастают требования к надежности их эксплуатации. В связи с низкой прочностью поверхностного слоя деталей машин возникает необходимость восстановления работоспособности машины в связи с износом данных поверхностей при эксплуатации. Следовательно, для повышения долговечности машин огромное значение имеет упрочнение трущихся поверхностей деталей в процессе их изготовления или ремонта.

В соответствии со стандартом ISO 9004-1 жизненный цикл изделия – это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребности общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукции. К таким процессам относятся: предпроектные исследования, разработка технического задания, проектирование и конструирование, технологическая подготовка производства, изготовление и испытание опытных образцов, производство изделий, поставка потребителям, эксплуатация, вывод из эксплуатации [1].

Для того чтобы повысить ресурс эксплуатации машины, т. е. увеличить жизненный цикл изделия, в машиностроительной отрасли существует много методов увеличения долговечности деталей машин.

На предприятиях машиностроения все шире применяются комбинированные методы термомеханической, электрофизической, электрохимической и ионно-лучевой обработки, в основу которых положено использование высокопроизводительных инструментов, а также разнообразных источников высококонцентрированной энергии. В процессе такой обработки поверхностный слой детали поглощает в короткое время значительное количество энергии. Образующиеся в нем неравновесные диссипативные структуры аккумулируют избыток энергии и самопроизвольно стремятся к состоянию с наименьшей свободной энергией. В поверхностном слое происходят необратимые процессы наследственности и самоорганизации, которые путем наложения и совместных действий потоков энергии ведут к образованию комплекса структур с определенными свойствами [2].

Большими потенциальными возможностями улучшения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин обладает электромеханическая обработка. Особенностью электромеханической обработки является [3]:

- тепловое и силовое воздействие на поверхностный слой осуществляется одновременно, а не последовательно;
- нагрев поверхностного слоя металла происходит от действия двух источников теплоты: внешнего (теплота трения) и внутреннего (теплота, выделяемая при прохождении тока). Особенностью второго источника является то, что теплота от него создается одновременно и мгновенно во всем поверхностном слое;
- длительность нагрева и выдержки в зависимости от поверхности контакта и скорости обработки кратковременна;
- высокая скорость охлаждения определяется интенсивным отводом теплоты от тонкого поверхностного слоя вовнутрь детали.

Целью работы является повышение долговечности деталей машин применением специальных методов обработки.

Качество поверхностного слоя определяется следующей группой наиболее распространенных в машиностроении геометрических и физико-механических показателей: параметрами субмикронеровности; шероховатости и волнистости; отклонениями формы

и расположения; глубиной наклепа поверхностного слоя; величиной остаточных подповерхностных напряжений; специальными физическими (величина контактной разности потенциалов) и оптическими параметрами; наличием или отсутствием локальных дефектов (царапин, наколов, раковин, трещин и включений и т. п.); присутствием оксидных и других химических пленок; наличием следов масел и загрязнений.

Параметры шероховатости оказывают существенное влияние на работоспособность детали в зависимости от условий, в которых она эксплуатируется. Данные факторы влияют на интенсивность износа, усталостную прочность в условиях циклических напряжений, прочность прессовых соединений, коррозионную стойкость.

Формирование шероховатости поверхности лезвийной обработкой является сложным процессом, который зависит от многих параметров: скорости резания, радиуса при вершине и геометрических параметров режущего инструмента, величины скорости подачи, глубины резания, твердости обрабатываемого материала, величины износа инструмента, наличия СОТС в зоне резания, состояния поверхности заготовки, вибраций технологической системы и др.

Применение комбинированных методов обработки, таких как электромеханическая обработка, вносят в условия формирования шероховатости поверхности еще и такие факторы, как величина и вид тока, подводимого в зону резания.

Исследования, проведенные по электромеханическому фрезерованию корпусных деталей, изготовленных из стали 40Х, показали, что при обработке со скоростью резания 110 м/мин, подачей 80 мм/мин, переменным током силой 200 А и напряжением 3,6 В формируется шероховатость $Ra = 2,5\text{--}3,2$ мкм. С увеличением силы тока до 300 А шероховатость поверхности увеличивается до $Ra = 3,75\text{--}4,5$ мкм. Это объясняется тем, что при увеличении силы тока возрастает температура в зоне резания, изменяются физико-механические свойства обрабатываемого материала, такие как пластичность, что приводит к увеличению объема поверхностного слоя и, как следствие, увеличивается шероховатость поверхности. Применение постоянного тока также приводит к увеличению шероховатости поверхности.

Важным показателем качества обработанной поверхности является наклеп, оказывающий значительное влияние на эксплуатационные характеристики деталей. Детали из сталей с особыми физико-механическими свойствами, как правило, работают в условиях высоких температур и знакопеременных нагрузок. Поэтому большой интерес представляют вопросы изучения влияния условий электромеханической обработки резанием на глубину и степень наклепа обработанной поверхности.

Результаты исследований показывают, что при фрезеровании стали 40Х с увеличением скорости резания с 80 до 110 м/мин, подачи с 80 до 250 мм/мин, силы тока с 80 до 300 А глубина наклепа поверхностного слоя уменьшается с 300 мкм до 200 мкм, а степень наклепа с 65 до 45 %. Это объясняется уменьшением времени контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью.

В результате пластической деформации металла поверхностного слоя при механической обработке, фазовых превращений металла и вследствие тепловых воздействий в этом слое формируются макроскопические остаточные напряжения (остаточные напряжения первого рода), уравнивающиеся в пределах областей, размеры которых одного порядка с размерами тела. Они вызваны неоднородностью силового, температурного или материального полей внутри тела (в зависимости от природы напряжений) и обычно определяются по величине деформаций отрезанных элементов испытываемого образца или по величине смещения положения максимума рефлекса при рентгенографическом методе испытаний.

Кристаллитные напряжения (или по классификации Н. Н. Давиденкова, напряжения второго рода) уравниваются в пределах отдельных зерен поликристалла, состоящих из отдельных блоков мозаики или состоящих из различно ориентированных кристаллитов с правильным строением атомной решетки. Напряжения второго рода возникают также при фазовых превращениях металла, вызывающих изменение объема отдельных кристаллитов.

Напряжения третьего рода (искажения кристаллической решетки) проявляют свое действие в масштабах $10^{-6} - 10^{-7}$ мм, т. е. в областях, состоящих из нескольких элементарных ячеек. Напряжения кристаллической решетки формируются вокруг дислокаций, и в прямой дислокации уменьшаются пропорционально расстоянию от линии дислокации. Другими источниками напряжений третьего рода, охватывающих область меньшего порядка, чем у дислокаций, являются внедренные атомы. В зависимости от их размеров возможны как растяжение, так и сжатия решетки, создающие силовые поля, распространяющиеся по всем направлениям примерно на одинаковом расстоянии.

Для технологии машиностроения наибольший интерес представляют напряжения первого рода, так как они имеют существенное влияние на точность обработки деталей, связанной с проявлением технологической наследственности. Для их снижения применяют в заготовительном производстве различные методы получения заготовок, рациональный выбор режимов резания при механической обработке, а также удаление поврежденного слоя при отделочных операциях.

Остаточные напряжения в объеме заготовки в любой момент времени находятся в равновесном состоянии; всякое нарушение равновесия сопровождается соответствующим короблением. Коробление детали функционально зависит от ее напряженного состояния и является его следствием.

Остаточные напряжения различаются по видам их образования на различных стадиях изготовления изделия:

- остаточные напряжения, возникающие в заготовке в процессе ее формирования (литья,ковки, проката);
- остаточные напряжения поверхностного слоя, возникающие от неравномерной пластической деформации в поверхностных слоях при силовом воздействии в процессе обработки резанием, локализованного нагрева поверхностного слоя, а также фазовых превращений различных слоев металла, приводящих к образованию различных структур с разными удельными объемами.

Учитывая явление технологического наследования можно исследовать изменение остаточных напряжений корпусной детали при ее изготовлении от заготовки до операции отделочной обработки [4]. Для качественного и количественного анализа процесса коробления весь технологический процесс обработки может быть представлен в виде как ориентированного, так и неориентированного графа, где свойства после воздействия на объект (деталь) могут ликвидироваться, или в определенных ситуациях создаются новые свойства объекта. В этом случае наследование определенных свойств представляется смешанным графом (рис. 1) [5].

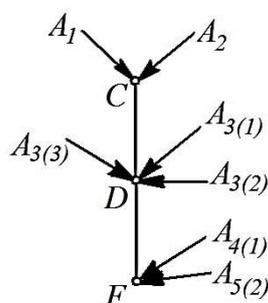


Рис. 1. Граф технологического наследования

Здесь под индексами $A_3(1)$, $A_3(2)$ следует понимать те свойства объекта D , которые создаются за счет особенностей проведения технологических операций, что может обеспечивать синергитический эффект.

Рассмотрим свойства, создаваемые в ходе электромеханического фрезерования, используя свойства ориентированного графа, который с одной стороны отражает последовательность обработки детали, а с другой стороны – характер изменения и взаимосвязи исследуемых параметров на определенных этапах обработки.

После термической обработки деталь имеет исходные начальные свойства σ_0 и f_0 (вершины A_1, A_2, A_3, A_4 на рис. 2). На этом этапе определяются по зависимости

$$\sigma_{0i} = \frac{\beta EK \Delta t \alpha d_{oi}}{3\lambda}, \quad (1)$$

где σ_{0i} – исходные остаточные напряжения заготовки, МПа.

После обработки первой стенки корпусной детали происходит перераспределение остаточных напряжений, нарушение их равновесия по всему объему детали, что сопровождается короблением всех стенок (дуга P_{01} на рис. 2).

В этом случае появление остаточных напряжений, как результат перераспределения после обработки, отражается связью P_2 .

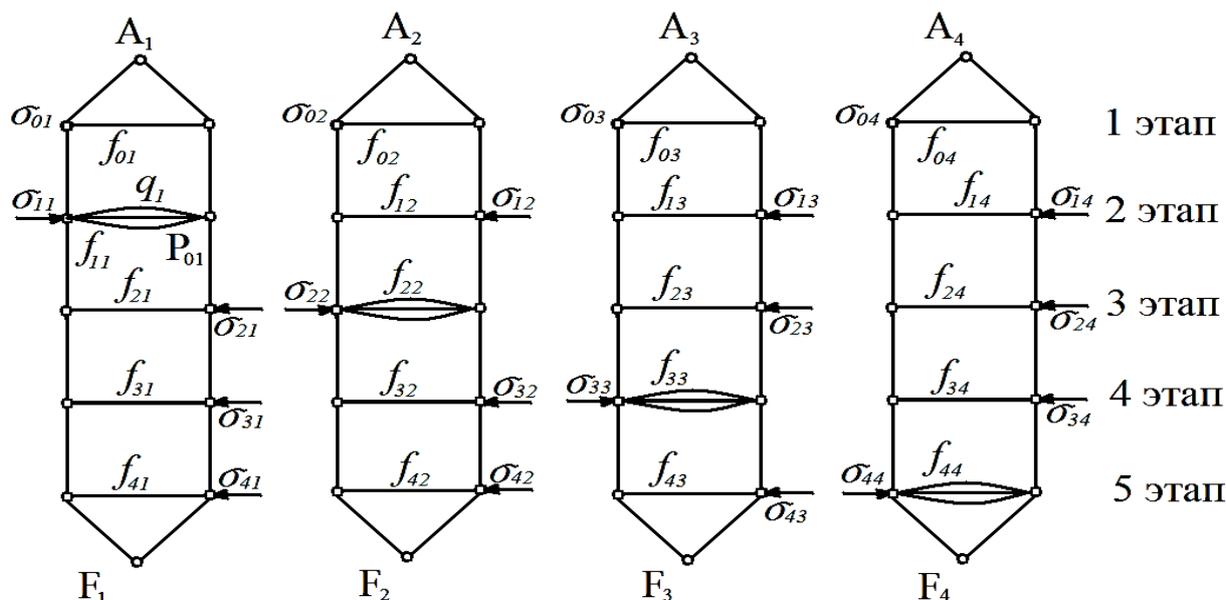


Рис. 2. Граф-схемы электромеханической обработки

Коробление всех стенок приводит к изменению величины результирующих остаточных напряжений σ_i , что представлено связью q .

В соответствии с вышеизложенным, результирующие остаточные напряжения и прогибы для всех стенок детали могут быть определены по следующим зависимостям:

$$\sigma_{рез.mi} = \sigma_i + \sum \sigma_j, \quad (2)$$

где σ_i – остаточные напряжения от предыдущей операции;

σ_j – остаточные напряжения стенки при электромеханической обработке.

Аналогично для прогибов:

$$f_{рез.mi} = f_i + \sum f_j. \quad (3)$$

Определение количественных связей технологической наследственности может быть произведено с использованием общей функции F по преобразованию начальных свойств стенки детали (A) и конечным состоянием стенок (B):

$$F : A \rightarrow B. \quad (4)$$

Известно, что параметр любой вершины графа является функцией параметров всех вершин, дуги которых предшествуют и входят в данную вершину. При параллельном расположении дуг количественное соотношение линейной системы выражается через коэффициенты C и представляется в следующем виде:

$$X_3 = C_1 X_1 + C_2 X_2. \quad (5)$$

Используем приведенные зависимости для определения результирующих остаточных напряжений и прогибов на каждом этапе обработки стенок детали.

В общем случае уравнения для определения результирующих остаточных напряжений и прогибов каждой стенки при электромеханической обработке будут иметь вид:

$$\sigma_{рез.mi} = K_i \sigma_i + K_j \sigma_j, \quad (6)$$

$$f_{рез.mi} = C_i f_i + C_j f_j, \quad (7)$$

где K_i, K_j, C_i, C_j – коэффициенты наследования, учитывающие наложение напряжений. Коэффициенты K и C могут быть найдены с использованием метода наименьших квадратов

Экспериментальные исследования по обработке корпусных деталей показали, что применение электромеханического фрезерования на этапе черновой обработки, когда удаляется основная часть металла, приводит к снижению остаточных деформаций на 15–20 %.

ВЫВОДЫ

Направленное формирование свойств поверхностных слоев деталей комбинированными методами обработки, в частности электромеханическим фрезерованием, способствует улучшению эксплуатационных свойств деталей машин в течение всего жизненного цикла изделия. Используя явление технологического наследования свойств можно управлять формированием свойств поверхностных слоев деталей в течение технологического процесса их изготовления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2010. – 589 с.
2. Эдигаров В. Р. Классификация комбинированных методов обработки на основе электромеханического упрочнения / В. Р. Эдигаров, И. Ю. Килунин, В. В. Дегтярь // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 3. – С. 32–35.
3. Онищук С. Г. Исследование остаточных напряжений и деформаций деталей при электромеханической обработке / С. Г. Онищук // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – № 3 (9). – С. 188–191.
4. Онищук С. Г. Разработка математической модели технологического наследования при электромеханической обработке корпусных деталей [Электронный ресурс] / С. Г. Онищук // Научный вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорськ, ДГМА, 2009. – № 2(5E). – С. 100–105. – Режим доступа: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe.
5. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / под ред. А. И. Кондакова. – М. : Машиностроение, 2005. – 352 с.