Общий подход к оценке параметров качества изделия при восстановлении

05, май 2012

DOI: 10.7463/0512.0361862

Ярославцев В. М., Ярославцева Н. А.

УДК 621.002: 658.562

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

yaroslavtsev.v.m@gmail.com

Технологии реновации [1] образуют особую группу ресурсо- и энергосберегающих технологических процессов, так как уже по своей сути предполагают продление срока службы материальных объектов, удовлетворяющих потребности общества в разных сферах его жизнеобеспечения и практической деятельности. Они направлены на рациональное использование и сохранение ресурсов затраченного труда, богатств земли, состава атмосферы, воды и воздуха и, уже поэтому, являются технологиями будущего. Технологии реновации используются там, где имеет место поврежденный, морально или физически устаревший, новый, но не отвечающий своим задачам объект, утративший свои изначальные служебные характеристики и свойства.

Как показывает опыт, накопленный в разных видах производства [2], качество реновируемых изделий аналогично вновь изготавливаемым, определяется используемыми технологиями и зависит от надежности технологического процесса в целом. Технологическое обеспечение качества и прогнозирование надежности изделий при их изготовлении непосредственно связывают с теорией технологического наследования, которая рассматривает явление переноса свойств объектов от предшествующих технологических операций к последующим [3, 4]. Это означает, что согласно принципу технологической наследственности, состояние и качество реновируемых объектов зависит не только от последней операции, но связаны также с особенностями энергетических воздействий всех предыдущих операций, начиная с материала для заготовки.

Одной из наиболее значимых особенностей реновационных технологий является вид заготовки - поврежденная деталь [5]. Повреждения в ней и формирование новых свойств происходят на протяжении всего периода "производство-эксплуатация" технического объекта - это дефекты и погрешности обработки и сборки при изготовлении, последовательное накопление повреждений на стадиях транспортировки, хранения и эксплуатации изделия, изменение параметров состояния при выполнении плановых ремонтных операций, а также в результате действия реологических процессов, структурных изменений материала и др.

Явление накопления повреждений технического объекта и (или) изменение состояния его свойств во времени под воздействием всех видов нагрузок (технологических и эксплуатационных) будем называть "наследственностью жизненного цикла".

В соответствии с этим термин "наследственность жизненного цикла" характеризует информационное обеспечение объекта на любой рассматриваемый момент времени и включает в себя данные как информацию технологического наследования, так и "эксплуатационной наследственности" [5]. Это позволяет анализировать параметры состояния изделия как результат суммарного нагружения от всех видов воздействий на него в течение всего жизненного цикла, начиная с материала для заготовки.

Понятия "наследственность жизненного цикла" и "жизненный цикл" представляются достаточно широкими и емкими, имеют принципиальное значение для условий реновационного производства, поскольку сама техническая идеология реновации детали уже изначально предполагает использование в технологическом процессе дефектной детали в виде заготовки. Каждая деталь-заготовка имеет свою "историю" изготовления и эксплуатации (включая хранение, транспортировку) со своими исходными, накопленными и переданными по наследству дефектами, погрешностями, повреждениями, т.е. свою историю нагружения и повреждения и, следовательно, свою наследственную информационную базу, которая формируется и изменяется на протяжении всего ее жизненного цикла в результате сложных взаимосвязанных и взаимовлияющих процессов суммирования и преобразования свойств состояния, в том числе технологических. В итоге на каждый момент времени мы имеем изделие с совокупностью новых свойств, определяемых явлениями наследственности жизненного цикла. Эти свойства индивидуальны для каждой поврежденной детали-заготовки. В этом состоит одно из важнейших отличий технологии реновации от обычной технологии, где исходное состояние материала для изготовления деталей одного наименования отличается в узких, установленных стандартом пределах.

Технологический процесс реновации такого изделия должен обеспечить восстановление всех свойств, необходимых для последующей эксплуатации и обеспечения требуемого ресурса работы технического объекта. Поврежденная деталь-заготовка в этом процессе является носителем наследственной информации жизненного цикла, накопленной ею к моменту реновации. Эта информация представляет собой исходные данные для решения вопросов возможности и эффективности проведения реновационных работ, определения их объемов, выбора технологических методов обработки, их рациональной последовательности и средств технологического обеспечения показателей качества изделия с учетом состояния свойств объекта к данному моменту времени.

В процессе реновации поврежденная деталь, выступая в качестве заготовки, продолжает свой жизненный цикл, продолжает последовательно подвергаться различным видам энергетических воздействий от метода к методу, от операции к операции, испытывая интенсивное влияние физико-химических процессов, протекающих при различных видах обработки. Идет процесс преобразования и сохранения исходных свойств поврежденной детали, ответственных за надежность восстанавливаемого изделия. Таким образом, эффект наследования жизненного цикла продолжает проявляться и во всей технологической цепочке,

оказывая большое влияние на формирование выходных параметров реновационной технологии.

Вместе с тем, сама поврежденная деталь-заготовка, являясь элементом технологической системы, оказывает существенное влияние на условия протекания физико-химических процессов методов обработки и, следовательно, на результирующие показатели технологического процесса реновации. Восстановление поврежденной поверхности детали до требуемых размеров, как правило, связано с нанесением дополнительного слоя материала либо его локальным перераспределением, что осуществляется обычно методами наплавки, напыления, сварки, литья, обработки давлением. Здесь проявляется еще одна особенность реновационной технологии, – деталь-заготовка преобразуется в биметаллическое изделие. Это впоследствии может привести к целому ряду нежелательных явлений, связанных с разницей свойств наслоенного (добавленного, ремонтного) и основного материалов, которая может служить источником внутренних микротрещин в пограничной зоне и других повреждений. Физико-химические процессы, соответствующие разным видам технологий (литье, обработка давлением и др.), в условиях технологий восстановления протекают не во всем объеме обрабатываемого материала, как это имеет место при изготовлении, а в ограниченном – в основном в поверхностных слоях реновируемой детали, что вызывает свои особенности протекания газодинамических, термодинамических, деформационных, контактных и других процессов, характерных для того или иного метода обработки, а, следовательно, и свои особенности формирования показателей качества изделия.

Из вышеизложенного следует, что технологическое обеспечение надежности восстанавливаемого изделия связано с учетом большого числа факторов и зависит от условий и маршрута формирования и преобразования комплекса основных параметров, ответственных за служебные свойства изделия. В связи с этим желательно иметь инструмент, с помощью которого можно было бы наиболее наглядно представить в совокупности и во взаимосвязи основные этапы изменения состояния требуемых свойств восстанавливаемой детали, осуществить анализ и заранее оценить надежность изделия в процессе реновации с учетом эффекта наследственности жизненного цикла и специфических особенностей реновационного производства [5]. Это позволит проектировать наиболее совершенные и рациональные технологические процессы, что обеспечит получение продукции с высокой технико-экономической эффективностью.

Таким инструментом может служить приводимая здесь обобщенная структурная схема технологического процесса реновации изделия, которая построена на базе системного анализа всего многообразия разных методов и способов обработки, разработанных к настоящему времени для нужд производства.

На схеме (см. рисунок) штрих-пунктирными линиями выделены структурные блоки технологических процессов (ТП) реновации.

Рис. Обобщенная структурная схема технологического процесса реновации

Блок "ТП восстановления" включает все принципиально возможные методы обработки и контроля, которые могут быть использованы в технологиях реновации. Методы систематизированы и представлены рядом групп, составляющих элементы структурного блока "ТП восстановления". Основным обобщающим признаком при систематизации методов принят признак стадийности преобразования свойств по отношению к заданным характеристикам.

Параметры (свойства), характеризующие надежность изделия, разнообразны, сложны, взаимосвязаны и взаимообусловлены. Для получения заданных характеристик, свойств деталей требуется постадийное преобразование свойств в определенной, объективно необходимой последовательности с постепенным приближением значений свойств к заданным [6, 7]. Стадийность обуславливается тем, что нельзя, с одной стороны, преобразовать одним методом одновременно все разнородные свойства детали, с другой, – получить сразу на одной стадии (операции) весь комплекс требуемых значений результирующих параметров. Стадии преобразования свойств в зависимости от степени

приближения их к заданным можно разбить на первичную, вторичную, ... и окончательную (отделочную).

В соответствии с этим на схеме обозначены:

$A_1, A_2, \dots, A_k$ – методы первичного формообразования. К ним относятся методы, преобразующие одновременно геометрические свойства детали и структуру материала, т.е. формирующие свойства во всем объеме обрабатываемого материала (например, литье, обработка давлением, сварка, осаждение из газовой фазы, плазменное напыление и др., а также возможные комбинации из указанных методов);

$B_1, B_2, \dots, B_l$ – методы вторичного формообразования. К ним относятся все методы, связанные с удалением излишков металла – это большинство видов механической, электрохимической, химической, электроэрозионной, комбинированной обработки, и др. Данная группа методов преобразует состояние поверхностного слоя, формируя поверхностный слой детали с заранее заданными свойствами, ответственными за качество изделия;

$T_1, T_2, \dots, T_r$ – методы термической обработки;

$E_1, E_2, \dots, E_m$ – методы окончательной (финишной) обработки. К ним относятся методы улучшения свойств поверхностного слоя, осуществляемые без удаления металла или с удалением минимальных по толщине слоев, например, методы поверхностного пластического деформирования, химико-термической обработки, доводочные операции и др.;

$K_1, K_2, \dots, K_s$ – методы контроля;

пунктирные линии обозначают основные этапы перемещения реновируемого объекта: поступление заготовки к первой операции ТП восстановления (применение одного из методов групп K, A, B, T, E) или ТП утилизации, передача восстановленного изделия на сборку;

сплошными линиями со стрелками показаны возможные варианты последовательного применения методов обработки (группы A, B, T, E) и контроля (K), т.е. варианты технологических маршрутов, определяющих соответствующие направления последовательного преобразования свойств реновируемого объекта, а также контроля и управления этими свойствами в результате тех или иных технологических воздействий;

f_{XY} – передаточная функция наследственности жизненного цикла, определяющая процесс переноса свойств (положительных и отрицательных) объекта реновации от предшествующих технологических операций (X) к последующим (Y). Передаточная функция характеризует совершенство отдельных технологических методов, их технологические возможности, определяет количественно эффект наследования по всему перечню показателей качества и, тем самым, обуславливает выбор последующих методов обработки;

$d_1, d_2, \dots, d_n$ и $D_1, D_2, \dots, D_n$ – основные наиболее важные и информативные свойства (параметры) заготовки и восстановленного изделия соответственно, характеризующие надежность детали к моменту начала реновации и по завершении технологического процесса. Для различных объектов в зависимости от условий эксплуатации это могут быть, например, прочность, герметичность, пористость, шероховатость, экономические показатели и т.д. Выбор параметров надежности должен быть обусловлен их изменчивостью в процессе изготовления и реновации, возможностью контроля, а количество параметров n должно быть

выбрано таким, сколько необходимо и достаточно для обеспечения безотказной работы изделия.

Аналогично, с соответствующими взаимосвязями и передаточными функциями f_{xy} наследования свойств, могут быть представлены ТП сборки и утилизации, показанные на схеме в свернутом (упрощенном) виде:

$C_1, C_2, \dots, C_v$ – методы сборки, контроля качества сборки и методы испытаний;

$U_1, U_2, \dots, U_w$ – методы утилизации, контроля технологических операций и качества продукции, методы испытаний.

Особое значение в решении проблемы качества и надежности изделий имеют эффективные методы и средства контроля. Наиболее важными видами контроля являются входной и выходной контроль в процессе производства, так как именно здесь фиксируют состояние изделия к моменту реновации, устанавливают его служебные свойства после восстановления.

Введение контрольных операций в общую структурную схему позволяет строить технологический процесс так, чтобы обеспечить стабильность и эффективность технологических режимов обработки, своевременно устранять выявленные отклонения и таким образом управлять качеством изделия в процессе производства.

Структурная схема дает возможность на наиболее высоком иерархическом уровне, пригодном для начального описания систем, наглядно представить технологический процесс в целом. Это помогает проследить через передаточные функции f_{xy} взаимосвязь и взаимовлияние различных методов, используемых при реновации, их взаимную совместимость, а также выделить основные из них, оказывающие наибольшее влияние на формирование заданных показателей качества $D_1, D_2, \dots, D_n$, определить место и количество контрольных операций. Введение необходимого и достаточного числа контрольных операций позволяет целенаправленно управлять технологическим процессом с тем, чтобы свойства, положительно влияющие на надежность изделия, сохранять в течение всего технологического процесса восстановления, а свойства, оказывающие отрицательное влияние, исключить или значительно ослабить на начальных стадиях этого процесса.

Приведенная схема может быть использована для описания не только процесса реновации деталей, но и традиционных технологических процессов изготовления новых изделий. В последнем случае из схемы исключается ТП утилизации.

Анализ структурной схемы показывает, что продукция каждого предыдущего метода обработки с комплексом его выходных характеристик и свойств является заготовкой для последующего метода и передает с собой эффект наследования жизненного цикла изделия к рассматриваемому моменту времени. Поэтому в процессе проектирования изделия желательно оговаривать технические условия на наследуемые параметры. Так, например, каждому методу первичного формообразования присущи свои дефекты, целый ряд из которых является трудноисправимым или вообще неисправимым в результате использования последующей термической обработки или последующих методов формообразования и финишной обработки, т.е. наследование подобных дефектов оказывает существенное влияние на конечную надежность изделия. К таким дефектам относятся при литье, например,

усадочная пористость, ликвация, анизотропия свойств; при обработке давлением – это надрывы, анизотропия свойств, структура материала и т.д.

Предложенная схема описывает практически все возможные варианты технологических процессов от самых структурно-простых, когда метод первичного формообразования является окончательным и формирует изделие с заданными свойствами, до самых структурно-сложных.

Таким образом, методика обеспечения надежности изделия в процессе изготовления и реновации должна строиться из операций поэтапного получения информации об обеспечении требуемых количественных показателей надежности в результате энергетического воздействия на исходную заготовку последовательного ряда методов изготовления. В этом плане очень показательны результаты сравнительного анализа изменения механических свойств сталей, полученных обычными методами выплавки (без использования в технологиях их получения способов улучшения качества), и свойств этих же сталей после последующего энергетического воздействия на металл методов заготовительного производства [8]. Данные приведены в таблице.

Таблица

Марка стали	Выплавка обычными методами	Предел прочности σ_b , МПа	
		Вид заготовки	
		Прокат-пруток	Поковка
		Состояние материала	Состояние материала
Азотируемая Сталь 38ХМЮА	1050	Закаленные с 930...950 ⁰ С в воде или масле и отпущенные при 600...670 ⁰ С с охлаждением в масле или воде 1000 ³	Закаленные с 930...950 ⁰ С в воде или масле и отпущенные при 600...670 ⁰ С с охлаждением в масле или воде 1100
Цементируемая Сталь 15Х2ГН2ТРА	1410	Закаленные с 800...850 ⁰ С и отпущенные при 150...170 ⁰ С 1050	
Улучшаемая Сталь 40ХНМА	1050	Закаленные с 850 ⁰ С и отпущенные на требуемую твердость 1000	Закаленные с 850 ⁰ С и отпущенные на требуемую твердость 1100

Высокопрочная Сталь 30ХГСНА	1680	Закаленные с 890...900 ⁰ С в масле и отпущенные при 200...300 ⁰ С 1600	
<p>Примечание: По данным [8] трубы, профили горячекатаные, листы, сталь калиброванная, прутки диаметром или со стороной квадрата 200...300 мм из высокопрочной стали 30ХГСНА после закалки с 890...900⁰ С в масле и отпуска при 200...300⁰ С имеют предел прочности не выше 1600 МПа.</p>			

Сравнительный анализ механических свойств сталей, относящихся к разным группам, показывает, что изначально свойства металла, полученного путем обычной выплавки (без применения таких способов улучшения качества стали, как электрошлаковый переплав, вакуумно-дуговой переплав, обработка синтетическими шлаками и др.), выше тех, которые имеют место после последующего энергетического воздействия на металл методов первичного формообразования ($A_1, A_2, \dots, A_k$). Это говорит о том, что для достижения исходных механических характеристик используемого в конструкции металла необходимо после литья, сварки, обработки давлением дополнительно применить технологию восстановления такую, например, как термическая обработка. Как следует из данных таблицы, очень часто даже введение дополнительной обработки материала не может гарантировать достижения тех значений механических свойств, которые были получены в результате выплавки.

В связи с этим необходимо произвести детальный и комплексный анализ условий производства и технологических связей и установить количественные характеристики передаточной функции f_{xy} технологического наследования.

Данная задача может быть решена в том случае, когда физико-химические процессы и явления, участвующие в формировании свойств изделия на каждой стадии технологического процесса, а также случайные факторы, влияющие на стабильность этого процесса, станут прогнозируемыми и, следовательно, управляемыми. Чтобы обеспечить это условие необходимо раскрыть содержание каждого метода обработки (A, B, E и др.), входящего в структуру технологического процесса, с его внутренними связями и явлениями.

Таким образом, использование обобщенной структурной схемы технологического процесса с раскрытием ее содержания через структурные модели операционных технологических систем совместно с имеющимися на сегодняшний день базами данных для отдельных методов и способов обработки материалов позволяет уже на этапе проектирования технологического процесса реновации оценить надежность и прогнозировать качество восстанавливаемого изделия, а также наметить наиболее эффективные пути их технологического обеспечения.

Литература

1. Гаврилюк В.С., Колесников А.Г., Ляпунов Н.И., Ярославцев В.М. Реновация материальных объектов как перспективное направление научно-технического прогресса // Технология металлов. 1998. №1. С. 40-44.
2. Черноиванов В.И. Восстановление деталей машин. - М.: ГОСНИТИ, 1995. - 278 с.
3. Технологические основы обеспечения качества машин / К.С. Колесников, Г.Ф. Баландин, А.М. Дальский и др.; Под общ. ред. К.С.Колесникова. - М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.
4. Дальский А.М. Что такое технологическая наследственность // Технология металлов. - 1998. - № 1. - С. 2-6.
5. Ярославцев В.М. Технологическое обеспечение качества и надежности деталей машин в условиях реновации // Надежность и контроль качества. - 1997. - №12. - С. 24-28.
6. Дальский А.М., Бухаркин Л.Н., Ярославцева Н.А. Использование структурных схем технологических процессов для обеспечения надежности изделий // Докл. Научно-техн. конф. - Одесса: ПНТО, 1986. - С. 12-16.
7. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Прогнозирование надежности реновируемых деталей машин на основе анализа структуры технологии восстановления // Методы менеджмента качества, 1999. - №8. – С. 52-58.
8. Справочник по авиационным материалам. Том 1. Конструкционные стали, чугуны и припои / Под ред. А.Т. Туманова. – М.: Машиностроение, 1965. – 515 с.

General approach to the estimation of quality parameters of product when renovating

05, May 2012

DOI: 10.7463/0512.0361862

Yaroslavtsev V.M., Yaroslavceva N.A.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

yaroslavtsev.v.m@gmail.com

The authors propose a generalized structural diagram of technological renovation processes of machine elements, based on the characteristic of transformation vicissitude of entry shell properties. The authors show the ways to provide the quality of renewable products, basing on the analysis of interrelation between the structural diagram elements, considering technological inheritance of renewable product properties. The concept “the inheritance of life cycle” was introduced and described.

Publications with keywords: [quality](#), [technological process](#), [repair](#), [heredity of life cycle](#), [block diagram](#), [technological heredity](#)

Publications with words: [quality](#), [technological process](#), [repair](#), [heredity of life cycle](#), [block diagram](#), [technological heredity](#)

References

1. Gavriluk V.S., Kolesnikov A.G., Liapunov N.I., Iaroslavtsev V.M. Renovatsiia material'nykh ob"ektov kak perspektivnoe napravlenie nauchno-tekhnicheskogo progressa [Renovation of material objects as a perspective direction of scientific-technical progress]. *Tekhnologiya metallov*, 1998, no.1, pp. 40-44.
2. Chernoiivanov V.I. *Vosstanovlenie detalei mashin* [Restoration of machine parts]. Moscow, GOSNITI, 1995. 278 p.
3. Kolesnikov K.S., Baladin G.F., Dal'skii A.M., et al. *Tekhnologicheskie osnovy obespecheniia kachestva mashin* [The technological basis for ensuring the quality of machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1990. 256 p.
4. Dal'skii A.M. Chto takoe tekhnologicheskaiia nasledstvennost' [What is the technological heredity]. *Tekhnologiya metallov*, 1998, no. 1, pp. 2-6.

5. Iaroslavtsev V.M. Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva i nadezhnosti detalei mashin v usloviakh renovatsii [Technological providing the quality and reliability of machine parts in the conditions of renovation]. *Nadezhnost' i kontrol' kachestva*, 1997, no. 12, pp. 24-28.
6. Dal'skii A.M., Bukharkin L.N., Iaroslavtseva N.A. Ispol'zovanie strukturnykh skhem tekhnologicheskikh protsessov dlia obespecheniia nadezhnosti izdelii [The use of structural schemes of technological processes for ensuring the reliability of products]. *Dokl. Nauchno-tekhn. konf.* [The reports of the Scientific-technical conference]. Odessa, PNTTO, 1986, pp. 12-16.
7. Iaroslavtsev V.M., Iaroslavtseva N.A. Prognozirovanie nadezhnosti renoviruemykh detalei mashin na osnove analiza struktury tekhnologii vosstanovleniia [Predicting the reliability of recovered parts of machines on the basis of the analysis of the structure of technology of restoration]. *Metody menedzhmenta kachestva*, 1999, no. 8, pp. 52-58.
8. Tumanov A.T., ed. *Spravochnik po aviatsionnym materialam. T. 1. K'nstruktsionnye stali, chuguny i pripoi* [Handbook of aviation materials. Vol. 1. Structural steels, cast irons and soldering]. Moscow, Mashinostroenie, 1965. 515 p.