

УДК 621.002: 658.562

Индивидуальность свойств исходных заготовок при реновации

профессор, д.т.н. Ярославцев В. М.^{1,*},

[*mt13@bmstu.ru](mailto:mt13@bmstu.ru)

доцент, к.т.н. Ярославцева Н. А.¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Показано, что в технологиях реновации отсутствует процедура выбора заготовки, так как во всех случаях исходной заготовкой служит сам объект реновации. Отмечаются особенности таких заготовок и, в частности, исключительная индивидуальность их свойств. Указывается, что индивидуальность свойств объектов, выступающих в роли исходных заготовок для технологий реновации, является результатом суммы разных по интенсивности и направленности энергетических воздействий технологических и эксплуатационных нагрузок, которые формируют свойства объекта в течении всего жизненного цикла до момента его реновации. Рассматривается влияние технологической наследственности и наследственности жизненного цикла на индивидуальность свойств объектов реновации и проектирование технологических процессов их обработки. Приводится пример количественной наследственной связи.

Ключевые слова: реновация, индивидуальность свойств, заготовка, жизненный цикл, наследственность жизненного цикла, исходная заготовка, технологическая наследственность, анизотропия свойств, напряженность процесса резания

Технологии реновации независимо от их вида [1 – 3] и этапа жизненного цикла изделия (изготовление, эксплуатация, восстановление и др.), на котором они находят применение, в отличие от технологий изготовления нового изделия характеризуются отсутствием процедуры выбора исходной заготовки, поскольку во всех случаях исходная заготовка predetermined [3, 4]. Ею служит сам объект реновации. Это качественно иной вид заготовки по сравнению с традиционными (отливка, поковка, машиностроительный профиль, сварной узел и др.). Исходной заготовкой, поступающей на реновацию, может быть любой материальный объект, не отвечающий требованиям нормативной или технической документации. Таким объектом является, например, поврежденная деталь бывшая в употреблении, которая исчерпала свой рабочий ресурс, разрушилась, или вышла из строя по каким-либо другим причинам, изделие, получившее дефекты в процессе изготовления, либо морально или физически устаревший, новый, но не отвечающий своим задачам объект или материал, утративший свои изначальные служебные характеристики и свойства [2, 3, 5, 6] и т.д. В ряде случаев речь может идти об отдельной поверхности или даже части поверхности детали. Заготовки данного вида имеют ряд своих специфических

особенностей [3, 4], одной из которых, имеющей решающее значение для всех этапов разработки и промышленной реализации технологического процесса реновации, является исключительная индивидуальность их свойств, в том числе технологических.

Индивидуальность свойств исходной заготовки для технологий реновации обусловлена несколькими факторами и, прежде всего, это различие в условиях формирования свойств материала традиционных заготовок и заготовок для реновационных процессов. Состояние и свойства материала исходных заготовок для изготовления новых изделий одного наименования, назначения и области применения определяется выбранным технологическим методом обработки (литье, обработка давлением, порошковая металлургия и т.д.) и конкретными условиями их изготовления. Свойства же материала объектов, поступающих на реновацию и изменивших в связи с этим свой статус на статус исходной заготовки, сформированы на протяжении всего периода "производство – эксплуатация".

В результате свойства заготовок для нового изделия отличаются в узких пределах, установленных нормативными документами, тогда как объекты, поступающие на реновацию, характеризуются большим разбросом и изначальной неопределенностью свойств. Последнее существенно усложняет разработку технологического процесса реновации, поскольку исключает возможность напрямую использовать общепринятые рекомендации [7] и требует в каждом конкретном случае, даже для объектов одного наименования, разных технологических решений [8–10].

В то же время качество реновированных изделий аналогично вновь изготавливаемым определяется применяемыми технологиями и зависит от надежности технологического процесса в целом [3, 8].

В свою очередь 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 [11–13]. При реновации это положение приобретает особое значение. Тогда согласно принципу технологической наследственности, состояние и свойства объекта, приобретшего статус исходной заготовки для технологий реновации, зависят от особенностей энергетических воздействий на всех этапах его жизненного цикла (изготовление, транспортировка, хранение, эксплуатация) и результирующих эффектов их взаимодействия.

В связи с изложенным, еще одним фактором, объясняющим высокую индивидуальность свойств реновируемых объектов, является большое влияние наследуемых параметров и свойств. При этом в период изготовления в процессе обработки и сборки изделием наследуются регламентируемые технологическим процессом дефекты и погрешности в пределах допусков. На стадиях транспортировки, хранения и эксплуатации исходные повреждения под влиянием внешних воздействий развиваются во времени; одновременно происходит процесс накопления новых повреждений, носящий статистический характер. Параметры состояния изделия изменяются после выполнения технического обслуживания и плановых ремонтных операций, в результате действия реологических процессов, структурных изменений

материала, а также процессов старения. Кроме того, немалую роль играют также квалификация обслуживающего персонала, используемое оборудование, технологии и т.д. В результате перманентное изменение свойств объекта во времени происходит под воздействием всех видов нагрузок (технологических и эксплуатационных), поэтому для характеристики состояния реновируемого изделия важно располагать наследственной количественной информацией [2, 13–15].

Таким образом, свойства каждого реновируемого объекта индивидуальны и при поступлении на реновацию каждый объект имеет свою историю наработки на отказ, сформированную в процессе всего жизненного цикла. В понятие жизненного цикла входит суммарное время изготовления, эксплуатации, включая хранение и транспортировку. Если деталь или изделие в результате восстановления возобновляют круговорот, то восстановление и последующая эксплуатация составляют продолжение их жизненного цикла. Для каждого объекта или каждой детали существует своя индивидуальная информационная база данных, приобретенная ими за всю их историю от момента начала изготовления до поступления на восстановление в статусе исходной заготовки. Поэтому данные на объекты реновации мы не можем получить ни из одного справочника.

При этом разрабатываемые технологические процессы реновации должны не только сохранять и формировать свойства, положительно влияющие на качество изделия, но и одновременно обеспечивать нейтрализацию зачастую значительных повреждений и дефектов восстанавливаемой детали-заготовки, оказывающих отрицательное влияние на результирующие характеристики объекта реновации. Процесс постадийного формирования полезных и подавления вредных свойств в результате последовательных технологических воздействий на заготовку должен прогнозироваться на основе закономерностей технологической наследственности с учетом наследственной информационной базы всего жизненного цикла объекта производства [5, 14, 15]. В связи с этим технологическое обеспечение качества и служебных свойств восстанавливаемых деталей машин напрямую связано со знаниями тех свойств исходной заготовки, которые будут переданы с одной технологической операции на другую на всех этапах маршрутной технологии. При этом важно учитывать, что продукция каждого предыдущего метода обработки с комплексом его выходных характеристик и свойств является заготовкой для последующего метода и несет с собой эффект наследования всех накопленных свойств жизненного цикла изделия к рассматриваемому моменту времени.

Известно, что в современных технологиях реновации наряду с другими технологическими методами достаточно широко используются, в частности, методы обработки, основанные на пластическом деформировании материала [1, 3, 16–19], для которых присущи такие характерные явления, как изменение физико-механических свойств, структурная деформационная анизотропия, неоднородность свойств поверхностного слоя, возможность образования надрывов и другие. Наследование подобных изменений свойств материала оказывает существенное влияние на построение технологического процесса реновации и конечную надежность изделия.

В таблице приведены результаты сравнительного анализа [2] изменения предела прочности σ_B сталей, полученных обычными методами выплавки (без использования в технологиях их получения способов улучшения качества таких, как электрошлаковый переплав, вакуумно-дуговой переплав, обработка синтетическими шлаками и др.), и σ_B этих же сталей после последующего энергетического воздействия на металл методов, основанных на пластическом деформировании материала. Результаты получены на основании обработки данных, представленных в [20] и относящихся к разным группам сталей.

Таблица

Марка стали	Предел прочности σ_B , МПа		
	Выплавка обычными методами	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	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	
<i>Примечание:</i> По данным [20] трубы, профили горячекатаные, листы, сталь калиброванная, прутки диаметром или со стороной квадрата 200...300 мм из высокопрочной стали 30ХГСНА после закалки с 890...900 ⁰ С в масле и отпуска при 200...300 ⁰ С имеют предел прочности не выше 1600 МПа.			

Обобщенные данные, приведенные в таблице, показывают, что, как правило, изначально механические свойства металла, полученного путем обычной выплавки выше тех, которые имеют место в результате последующего воздействия на металл механической обработки давлением и введенной в качестве технологии их восстановления термической обработки.

Поскольку в технологиях реновации на завершающем этапе при восстановлении деталей машин, как правило, используется обработка резанием, большой практический интерес представляют результаты исследований влияния на процесс резания деформационной структурной анизотропии металлов, наследуемой объектом реновации от предшествующих технологических и эксплуатационных воздействий. Данные о влиянии деформационной анизотропии материала на напряженность процесса резания и методика их получения изложены в работе [21].

Экспериментальные исследования проводились на операции строгания пластинчатых образцов из жаропрочной стали аустенитного класса 12X18H10T, жаропрочной стали переходного аустенитно-мартенситного класса X17H7Ю (ЭИ973) и жаропрочного сплава на никелевой основе ХН78Т (ЭИ435). Образцы изготавливались из полос, предварительно подвергнутых холодной прокатке с различной степенью деформации, и вырезались из указанных полос под разными углами с шагом 15°.

Деформационная анизотропия процесса резания оценивалась относительной величиной η_P главной составляющей силы резания

$$\eta_P(\alpha_n) = \frac{P_{zn} - P_{z\alpha}}{P_{zn}} \cdot 100\%,$$

где P_{zn} - главная составляющая силы при строгании образцов в направлении прокатки; $P_{z\alpha}$ - главная составляющая силы при строгании образцов, вырезанных под углом α_n к направлению прокатки.

На рисунке в качестве примера приведены построенные по результатам проведенных испытаний в полярных координатах зависимости относительного изменения главной составляющей силы резания η_P от угла α_n , определяющего направление скорости резания v по отношению к направлению прокатки, для стали 12X18H10T.

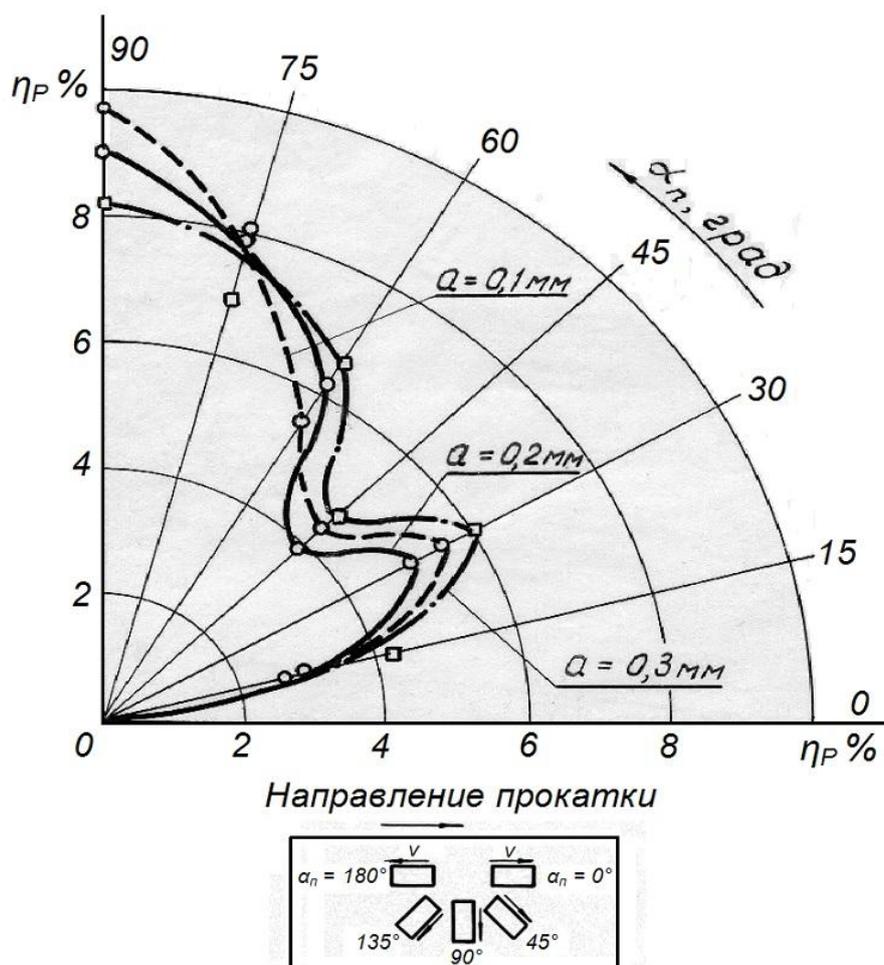


Рисунок. Зависимость относительного изменения главной составляющей силы резания η_P от направления α_n вырезки образцов: (сталь 12X18H10T, степень деформации $\epsilon=50\%$, a – толщина срезаемого слоя)

Из приведенных в [21] и частично представленных на рисунке экспериментальных данных следует, что деформационная структурная анизотропия материала оказывает непосредственное влияние на напряженность процесса резания, выражающуюся в изменении величины силы резания P_z в зависимости от направления текстуры обрабатываемого материала. Следовательно, механическая обработка деформированных металлов сопровождается анизотропией технологической, которая для рассмотренных в [21] условий испытаний и материалов составляет $\sim 8-10\%$.

Рассмотренные выше примеры показывают, что в этой цепочке технологические воздействия при изготовлении или восстановлении объекта и вызванные ими изменения свойств материала являются лишь одними из звеньев жизненного цикла. Для характеристики состояния реновируемого изделия важно располагать наследственной информацией всего жизненного цикла, которая определяется совокупностью свойств (полезных и вредных) к моменту выполнения тех или иных технологических мероприятий.

Таким образом, каждый объект реновации, в том числе деталь-заготовка, имеет свою наследственную информационную базу данных. За время изготовления, эксплуатации каждый материальный объект подвергается различным энергетическим воздействиям: от технологических процессов, эксплуатационных нагрузок, внутренних и внешних процессов изменения свойств во времени, состояния и поверхностной твердости, как говорят, каждый объект формирует свою историю нагружения и повреждений и, следовательно, свои индивидуальные свойства. В процессе реновации поврежденная деталь, выступая в качестве исходной 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 исходных свойств поврежденной детали-заготовки, 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.

Список литературы

1. Черноиванов В.И., Лялякин В.П. Организация и технология восстановления деталей машин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГОСНИТИ, 2003. 488 с.
2. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Виды исходных заготовок в технологиях реновации // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 2. С. 1-12. DOI: [10.7463/0214.0699990](https://doi.org/10.7463/0214.0699990)
3. Абакумов Ю.Ф., Вялков В.Г., Гаврилюк В.С., Гик Л.А., Глазунов С.Н., Грошев Л.Н., Дризов В.С., Желтов В.Е., Зайцев Р.В., Ищенко В.В., Колесников А.Г., Коновалов А.В., Кочарыгин В.И., Кременский И.Г., Кручинин С.В., Кухтаров И.И., Легчилин

- А.И., Липатов А.И., Лунин Г.П., Лутковский С.И., Ляпунов Н.И., Мальцев В.П., Мамин В.П., Мирсков А.Н., Овешников А.В., Овчаренко Л.В., Шатилов А.А., Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Научные основы теории реновации: монография / составители В.С. Гаврилюк, В.П. Ступников, В.М. Ярославцев. Электронное издание. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. CD–R. № гос. рег. 0320000161.
4. Ярославцев В.М. Особенности технологических процессов восстановления деталей машин // Технология металлов. 1999. № 10. С. 28-33.
 5. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Обеспечение надежности объектов реновации на разных этапах жизненного цикла // Методы менеджмента качества. 2000. № 12. С. 23–25.
 6. Ярославцев В.М. Резание с опережающим пластическим деформированием в технологиях утилизации металлической стружки // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 7. С. 79-90. DOI: [10.7463/0713.0567548](https://doi.org/10.7463/0713.0567548)
 7. Дальский А.М., Суслов А.Г., Назаров Ю.Ф., Ярославцев В.М. и др. Машиностроение: энциклопедия. Т. III-3: Технология изготовления деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 840 с.
 8. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Общий подход к оценке параметров качества изделия при восстановлении // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 5. С. 18-28. DOI: [10.7463/0512.0361862](https://doi.org/10.7463/0512.0361862)
 9. Ярославцев В.М. *Оперативный поиск инновационных решений технологических задач* // Экономика и управление в машиностроении. 2011. № 4. С. 29-36.
 10. Ярославцев В.М. Оценка режимов обработки в условиях переменной обрабатываемости материала резанием при восстановлении // Технология машиностроения. 2010. № 4. С. 20–23.
 11. Дальский А.М. Технологическая наследственность в сборочном производстве. М.: Машиностроение, 1978. 44 с.
 12. МР 193-84. Надежность в технике. Обеспечение надежности в процессе изготовления изделий. Общие требования. Методические рекомендации / ГОССТАНДАРТ ВНИИНМАШ; разработ. А.М. Дальский, А.Н. Бухаркин, Н.А. Ярославцева и др. М.: Изд-во стандартов, 1985. 54 с.
 13. Дальский А.М. Что такое технологическая наследственность // Технология металлов. 1998. № 1. С. 2–6.
 14. Ярославцев В.М. Технологический процесс – энергетический преобразователь // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 7. С. 21-32. DOI: [10.7463/0712.0414854](https://doi.org/10.7463/0712.0414854)
 15. 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.

16. Кременский И. Г. Пластическое деформирование в технологии восстановления деталей // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 11. С. 41-44.
17. Ярославцев В.М. Эффективность применения метода резания с опережающим пластическим деформированием в технологиях восстановления деталей машин и утилизации стружки // Труды ГОСНИТИ. 2013. Том 113. С. 387-394.
18. Ярославцев В.М. Эффективность методов опережающего деформационного упрочнения материала срезаемого слоя при обработке резанием // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 1. С. 119-127.
19. Ярославцев В.М. Механика процесса резания пластически деформированных металлов с неоднородными свойствами по толщине срезаемого слоя // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 8. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/195350.html> (дата обращения 01.03.2015).
20. Справочник по авиационным материалам. Том 1. Конструкционные стали, чугуны и припои / ред. А.Т. Туманов. М.: Машиностроение, 1965. 515 с.
21. Ярославцев В.М. Влияние деформационной структурной анизотропии обрабатываемых материалов на силу резания // Известия вузов. Машиностроение. 1976. № 12. С. 156-159.

Distinctiveness of Initial Preform Properties in Renovation

V.M. Yaroslavtsev^{1,*}, N.A. Yaroslavceva¹

[*mt13@bmstu.ru](mailto:mt13@bmstu.ru)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: renovation, individuality properties, preform, life cycle, heredity life cycle, the initial preform, technological heredity, the anisotropy of the properties, the intensity of the cutting process

Technologies of renovation form a special group of resource-and energy saving technological processes as they are, by definition, already aimed either at increasing resource of the objects satisfying needs of the society life support and practical activities in different spheres, or at extension of their life cycle including a reuse of material from which they are made. Renovation is used where there is a material object, which does not meet requirements of standard or technical documentation.

A characteristic feature of the renovation technologies is lack of procedure for a choice of the preform as in all cases an initial preform is the renovation object itself. Thus each object, acting as an initial preform, has the exclusively individual properties, including technological ones.

Distinctiveness of renovation object properties is correlated, first of all, with the personified conditions of formation and (or) change of condition of their properties in time at all stages of life cycle (production – transportation – warehousing – operation) starting with a preform material when manufacturing under all types of loadings (technological and operational). As a result each object forms its "history" of loading and damages and, therefore, its information base which has to consider the phenomenon of "heredity of life cycle". The term "heredity of life cycle" characterizes information support of object at any moment under review, including both information of technological inheritance, and data of operational heredity.

As a result at every moment of time we have a product with a set of new, uncertain properties caused by the phenomena of heredity of life cycle. These properties are individual for each object to be renovated, which changed its status for the status of initial preform for different types of renovation technologies. This is one of the most important distinctions of renovation technology from the technology used to manufacture a new product where the initial condition of material to produce the same-named details differs within the narrow standards-set limits.

Technological process of renovation has to ensure restoration of all properties necessary to provide the subsequent operation and demanded work resource of the technical object turned to be an initial preform. The object, which is off-specifications and off-technical regulatory documents, in this case is a carrier of the hereditary information of life cycle, that it have saved up by

the time of renovation. This information represents basic data to make decisions on possibility and efficiency of carrying out renovation works, defining their amounts, selecting technological methods of processing, their rational sequence, and means of technological support of the product quality.

In this regard technological support of quality and work-related properties of the renovated objects directly depends on the knowledge of those properties of initial preform which will be imparted from one technological operation to the other at all stages of the route technology. Thus it is important to take into consideration that a product processed by each previous method with a complex of its output characteristics and properties is the preform for the subsequent method and itself conveys effect of the life cycle heredity of a product by the time under consideration. For example, the available results of pilot studies show that the strain structural anisotropy of material occurring after processing by pressure, rolling in particular, results in strain anisotropy of cutting process. Thus strain anisotropy of the main component of the cutting force P_z , can be of ~ 8-10%.

Thus, high heterogeneity of properties of renovated objects with the same name, purpose, and application demands an individual approach to each of them, i.e. the corresponding correction of operation conditions, fast readjustment of technological system, and change of other processing conditions.

References

1. Chernoiivanov V.I., Lyalyakin V.P. *Organizatsiya i tekhnologiya vosstanovleniya detalei mashin* [Organization and technology of restoration of machine parts]. Moscow, GOSNITI Publ., 2003. 488 p. (in Russian).
2. Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. Kinds of initial billets in renovation technologies. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 2, pp. 1-12. DOI: [10.7463/0214.0699990](https://doi.org/10.7463/0214.0699990) (in Russian).
3. Abakumov Yu.F., Vyalkov V.G., Gavriilyuk V.S., Gik L.A., Glazunov S.N., Groshev L.N., Drizhov V.S., Zheltov V.E., Zaitsev R.V., Ishchenko V.V., Kolesnikov A.G., Konovalov A.V., Kocharygin V.I., Kremenskii I.G., Kruchinin S.V., Kukhtarov I.I., Legchilin A.I., Lipatov A.I., Lunin G.P., Lutkovskii S.I., Lyapunov N.I., Mal'tsev V.P., Mamin V.P., Mirskov A.N., Oveshnikov A.V., Ovcharenko L.V., Shatilov A.A., Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. *Nauchnye osnovy teorii renovatsii: monografiya* [Scientific fundamentals of the theory of renovation: monograph]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2000. CD-R. (in Russian).
4. Yaroslavtsev V.M. Features of technological processes of restoration of machine parts. *Technologiya Metallov = Technology of metals*, 1999, no. 10, pp. 28-33. (in Russian).
5. Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. Ensuring reliability of objects of renovation at different stages of life cycle. *Metody menedzhmenta kachestva = Methods of quality management*, 2000, no. 12, pp. 23-25. (in Russian).

6. Yaroslavtsev V.M. Cutting with outrunning plastic deformation in technologies of utilization of metal chips. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 7, pp. 79-90. DOI: [10.7463/0713.0567548](https://doi.org/10.7463/0713.0567548) (in Russian).
7. Dal'skii A.M., Suslov A.G., Nazarov Yu.F., Yaroslavtsev V.M., et al. *Mashinostroenie: entsiklopediya. T. 3-3: Tekhnologiya izgotovleniya detalei mashin* [Mechanical engineering: Encyclopedia. Vol. 3-3: Technology for manufacturing of machine parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2000. 840 p. (in Russian).
8. Yaroslavtsev V.M., Yaroslavceva N.A. General approach to the estimation of quality parameters of product when renovating. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2012, no. 5, pp. 18-28. DOI: [10.7463/0512.0361862](https://doi.org/10.7463/0512.0361862) (in Russian).
9. Yaroslavtsev V.M. Operative search of technological problems innovative decisions. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii = Economics and management in mechanical engineering*, 2011, no. 4, pp. 29-36. (in Russian).
10. Yaroslavtsev V.M. Processing rates estimation under conditions of the material variable cutability. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2010, no. 4, pp. 20–23. (in Russian).
11. Dal'skii A.M. *Tekhnologicheskaya nasledstvennost' v sborochnom proizvodstve* [Technological heredity at assembly production]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 44 p. (in Russian).
12. MR 193-84. Nadezhnost' v tekhnike. Obespechenie nadezhnosti v protsesse izgotovleniya izdelii. Obshchie trebovaniya. Metodicheskie rekomendatsii [Methodical Recommendations 193-84. Dependability in technics. Dependability during manufacture of products. General requirements. Guidelines]. Moscow, Standards Publishing House, 1985. 54 p. (in Russian).
13. Dal'skii A.M. What is the technological heredity. *Technologiya metallov = Technology of metals*, 1998, no. 1, pp. 2-6. (in Russian).
14. Yaroslavtsev V.M. Technological process as an energy conversion device. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2012, no. 7, pp. 21-32. DOI: [10.7463/0712.0414854](https://doi.org/10.7463/0712.0414854) (in Russian).
15. Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. Reliability prediction of renovated machine parts based on the analysis of the structure recovery technology. *Metody menedzhmenta kachestva = Methods of quality management*, 1999, no. 8, pp. 52-58. (in Russian).
16. Kremenskiy I.G. Plastic forming in case of technology use of reconditioning parts. *Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya = Repair, Reconditioning, Modernization*, 2013, no. 11, pp. 41-44. (in Russian).
17. Yaroslavtsev V.M. Efficiency of application of the method of cutting with outrunning plastic deformation in technologies of utilization of metal chips. *Trudy GOSNITI*, 2013, vol. 113, pp. 387-394. (in Russian).
18. Yaroslavtsev V.M. Effectiveness of Methods for Leading Strain Hardening of the Material of Cut Down Layer in Machining. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie =*

Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering, 2015, no. 1, pp. 119-127. (in Russian).

19. Iaroslavtsev V.M. Mechanics of cutting processes of plastically deformed metals with non-uniform properties of cutting layer. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2011, no. 8. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/195350.html> , accessed 01.03.2015. (in Russian).
20. 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 Publ., 1965. 515 p. (in Russian).
21. Yaroslavtsev V.M. Influence of deformation structural anisotropy of processed materials on cutting force. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 1976, no. 12, pp. 156-159. (in Russian).