

УДК 658.562:621.757

DOI: 10.30987/article_5bb4b1fa81a7f8.26650961

В.И. Аверченков, д.т.н.

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)

А.С. Васильев, д.т.н.

(ФГБОУ ВО МГТУ имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 105005, Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)

М.Л. Хейфец, д.т.н.

(ГНПО «Центр» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)

E-mail: averchenkov@tu-bryansk.ru

Технологическая наследственность при формировании качества изготавливаемых деталей

Рассмотрены вопросы влияния технологической наследственности на формирование качества и эксплуатационных свойств деталей машин. Показана важность установления количественных зависимостей, учитывающих проявление технологической наследственности. Предложены математические модели для автоматизации проектирования технологических процессов, обеспечивающих требуемое качество деталей.

Ключевые слова: технологическая наследственность; качество поверхности; шероховатость и микротвердость поверхности; управление эксплуатационными свойствами.

V.I. Averchenkov, Dr. Sc. Tech.,

(FSBEI HE "Bryansk State Technical University",
7, October 50-th Anniversary Boulevard, Bryansk, 241035)

A.S. Vasiliev, Dr. Sc. Tech.,

(FSBEI HE Bauman STU of Moscow (National Research University),
Building 1, 5, 2-d Baumanskaya Str., Moscow, 105005)

M.L. Heifetz, Dr. Sc. Tech.

(SNPC "Center", NAS of Belarus, Minsk, Belarus)

Technological heredity at quality formation of parts manufactured

The problems of a technological heredity impact upon quality formation and machinery operation properties are considered. The significance of the definition of quantitative dependences taking into account technological heredity manifestation is shown. Simulators for the computer-aided design of engineering ensuring parts quality required are offered.

Keywords: technological heredity; surface quality; roughness and micro-hardness of surface; operation properties control.

Одной из важнейших задач современного машиностроения является повышение качества выпускаемой продукции, ее надежности и долговечности. Решение этой задачи может быть достигнуто за счет управления технологическими процессами изготовления деталей машин. При этом особое внимание должно быть уделено обеспечению точности их размеров и формы, а также приданию поверхностному слою деталей необходимых физико-механических свойств.

Исследования в указанном направлении обычно ограничиваются рамками отдельных

операций. Однако для установления объективных закономерностей обеспечения требуемого качества деталей необходимо всесторонне изучать точность и физико-механические свойства, учитывая действие технологической наследственности [1 - 4]. Это значит, что все операции следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как конечные характеристики обработанных поверхностей и отдельных свойств деталей в целом формируются под взаимодействием всего комплекса выполняемых операций.

Под технологической наследственностью в

машиностроении подразумевается явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которые в дальнейшем влияют на эксплуатационные свойства деталей машин [1, 3].

Носители наследственной информации – обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их параметров. Носители этой информации проявляются при реализации технологических процессов и при дальнейшей эксплуатации деталей, проходя через различные операции и переходы, испытывая воздействия технологических факторов.

В технологической цепочке и на стадии эксплуатации существуют своего рода «барьеры». Одни технологические факторы не могут их преодолеть, и в таком случае не влияют на конечные свойства объекта. Другие факторы проходят такие «барьеры», но значительно ослабевают их влияние на конечные свойства [1, 6]. Самым существенным «барьером» являются термические операции, а также операции, сопровождающиеся поверхностным деформированием и упрочнением, так как они изменяют микроструктуру обрабатываемого материала, микрогеометрию формируемой поверхности, приводят к короблению детали и искажению ее формы. В ходе этих операций различные дефекты поверхности, такие как структурная неоднородность, поры, микротрещины, могут развиваться или «залечиваться». Следовательно, можно управлять процессом технологического и эксплуатационного наследования так, чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранялись в течение всего технологического процесса, а свойства, влияющие отрицательно, ликвидировались в его начале.

На первом этапе исследования технологической наследственности основное внимание уделялось качественной стороне рассматриваемых явлений. Так, например, описывалось пооперационное взаимодействие зон наклепов и полей остаточных напряжений поверхностного слоя деталей [4]. Однако ввиду сложности изучаемых явлений использовать эти данные при технологическом проектировании было затруднительно, поэтому на следующем этапе исследований основное внимание было уделено получению количественных зависимостей, учитывающих проявление технологической наследственности [2, 3, 4].

В последнее время вопросам технологической наследственности уделяется все больше внимания [9, 11 – 13], хотя сам термин «технологическая наследственность» широкого распространения в технической литературе еще не получил. Выполненные исследования главным образом были посвящены частным вопросам, описывающим влияние технологической наследственности на отдельные характеристики качества поверхности и точность обработки.

Сложность процессов, при которых происходит проявление технологической наследственности, требует глубокого теоретического и экспериментального изучения физической сущности рассматриваемых явлений. Как показывают выполненные исследования, долговечность и надежность работы деталей, узлов и машин в целом во многом зависят от технологии их изготовления [5 – 8].

Эксплуатационные свойства деталей в значительной степени определяются состоянием тонких поверхностных слоев, несущих в себе большое число различных геометрических и структурных концентраторов напряжений. В процессе работы эти слои испытывают максимальные напряжения от внешних нагрузок, поэтому разрушение деталей начинается обычно с поверхности. Следовательно, очень важной технологической задачей является придание внешнему слою деталей высоких эксплуатационных свойств.

Желательно, чтобы в процессе механической обработки поверхностный слой получил такие характеристики (шероховатость, микротвердость, структуру, цельность поверхности, величину и знак напряжений и др.), которые формируются в конкретных условиях эксплуатации деталей к концу периода приработки. При выполнении этих требований период приработки резко сокращается, что способствует более длительному сохранению расчетных величин зазоров в скользящих контактах, увеличению поверхностной усталостной прочности и надежности работы [9, 10].

На конечное состояние обработанных поверхностей в той или иной степени влияет весь комплекс выполняемых технологических операций. Поэтому изолированное изучение отдельных операций не может дать полной картины формирования основных характеристик работоспособности деталей. Такую картину может дать только рассмотрение всех операций во взаимосвязи, т.е. с учетом действия технологической наследственности. В связи с этим перед технологами стоит задача научиться назначать оптимальное сочетание технологических операций не только с точки зрения обеспечения максимальной производительности при минимальной себестоимости, но и с целью получения деталей с повышенными эксплуатационными свойствами. Для этого наряду с изучением известных положений о проявлении закономерности технологической наследственности необходимо научиться управлять ими, чтобы в итоге точность обработки и физико-механические характеристики поверхностного слоя подверглись инженерному расчету [11].

Наиболее полно наследование основных показателей качества раскрывается при рассмотрении последовательности процессов с синергетических позиций совместного действия технологических факторов при взаимном влиянии различных показателей.

Следует отметить, что начальные показате-

троля с автоматическими подналадчиками и изысканием методов обработки, препятствующих пооперационному копированию геометрических погрешностей формы и размеров деталей.

В проведенных исследованиях показано значительное влияние технологической наследственности на образование волнистости и формирование шероховатости поверхности обрабатываемых деталей [8].

Важными по влиянию на многие эксплуатационные свойства являются глубина и степень упрочнения, величина, знак и характер распределения остаточных напряжений и микроструктура [12, 13].

При выполнении всего комплекса технологических операций в поверхностных слоях происходят сложные процессы взаимодействия имеющихся и вновь созданных зон наклепов, эпюр напряжений, процессы образования и закрытия микротрещин, изменение химического состава и структуры металла. Через указанные процессы проявляется связь физико-механических свойств, созданных в поверхностных слоях на предшествующих и окончательных операциях [1].

Проявление технологической наследственности имеет место не только на этапе изготовления детали, но и в процессе ее эксплуатации. Поэтому особое внимание должно быть уделено установлению непосредственных связей между эксплуатационными характеристиками деталей (износостойкостью, усталостной прочностью, контактной жесткостью и т.д.) методами и режимами их обработки [13].

При проектировании технологических процессов необходимо находить оптимальные сочетания методов обработки деталей, позволяющие получить требуемое эксплуатационное качество при минимальных затратах на их изготовление. В проведенных исследованиях рассматривались различные подходы для выбора оптимальных сочетаний методов обработки. В частности, предложено для этих целей использовать дисперсионный анализ и построение ранговых диаграмм, наглядно представляющих влияние методов предварительной и окончательной обработки на отдельные

характеристики качества поверхности и эксплуатационные свойства [8].

Важное значение для технологического управления качеством поверхности и обеспечения требуемых эксплуатационных свойств имеет задача установления количественных зависимостей, отображающих в комплексе весь процесс обработки и учитывающих явные технологической наследственности. Подобные зависимости, полученные для широкого круга технологических методов обработки деталей, могут быть использованы при создании математической модели технологического процесса, в основу которой положены принципы оптимизации по заданным параметрам эксплуатационного качества рабочих поверхностей. В проведенных исследованиях на основе подобных математических моделей предложены алгоритмы автоматизации проектирования технологических процессов [7, 8, 14].

Для описания методологии принятия технологических решений исследуемого явления предложен математический аппарат, который базировался на следующих положениях [9,10,14]:

- качество детали формируется на протяжении всей ее технологической предыстории и множество показателей качества является результатом предыстории;
- любое технологическое и связанное с ним воздействие на заготовку изменяет все показатели качества;
- любой показатель качества, изменяясь, приводит к изменению всех остальных показателей качества заготовки.

Характеристики технологических сред и закономерности их изменения позволили сформировать основную задачу направленного формирования показателей качества изделия: при известных начальных и конечных свойствах предмета производства определить наиболее оптимальную с точки зрения трансформации свойств технологическую среду.

В результате предложен общеметодический подход к обеспечению направленного формирования оптимальных свойств изделий (рис. 2).

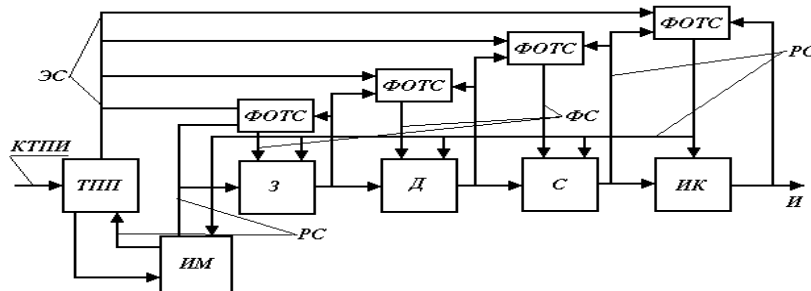


Рис. 2. Концептуальная схема направленного формирования оптимальных свойств изделий:

И – изделие; ЗС, РС, ФС – соответственно заданные, реальные, формируемые свойства изделия; ТПП – технологическая подготовка производства; ИМ – изготовление исходных материалов; З – изготовление заготовок; Д – изготовление деталей; С – сборка; ИК – испытание и контроль; КТПИ – конструктивно-технологические параметры изделия; ФОТС – формирование оптимальных технологических сред

Важнейшей особенностью для этого подхода является формирование для каждого технологического передела сквозного процесса изготовления изделия оптимальной технологической среды, обеспечивающей наиболее рациональное распределение значений показателей качества по переделам и придающей процессу формирования качества изделия необходимую направленность. Изменяя среду или ее характеристики, можно управлять формируемыми свойствами изделий.

В дальнейшем при исследовании явления технологической наследственности следует обратить особое внимание на создание справочно-информативных данных для выбора наиболее оптимальных сочетаний отдельных методов обработки и проектирования маршрутов технологических процессов изготовления деталей. С этой же целью наряду с установлением количественных зависимостей в виде формул, таблиц, диаграмм, описывающих влияние технологических факторов на качество изготовления деталей, необходимо проводить исследование вопросов моделирования технологических процессов на основе структурного анализа и других математических методов исследования операций [8].

Необходимость автоматизации работ по

технологическому проектированию потребовало разработки математических моделей и методов их описания в виде структурных схем многомерного процесса, в основе которого положено математическое описание явления технологической наследственности [6].

В этом случае общую структуру технологического процесса можно представить как сложную многомерную систему, в которой на вход поступают различные характеристики заготовки $\{R_{10}, R_{20}, \dots, R_{m0}\}$, а на выходе обеспечивается соответствующий набор тех же характеристик для готовой детали $\{R_{1p}, R_{2p}, \dots, R_{mp}\}$. Эти изменения определяются действием совокупности технологических факторов $\{t_{1l}, t_{2l}, \dots, t_{nl}\}$ для каждой операции φ_l технологического процесса. Общая структурная схема многомерного технологического процесса показана на рис. 3.

Применительно к подобной модели проявления технологической наследственности может быть выражено в виде:

$$x_l = ax_{l-1}^b, \quad (1)$$

где x_{l-1}, x_l – характеристики качества заготовки для $(l - 1)$; l – операции технологического процесса обработки; a, b – коэффициенты технологической наследственности.

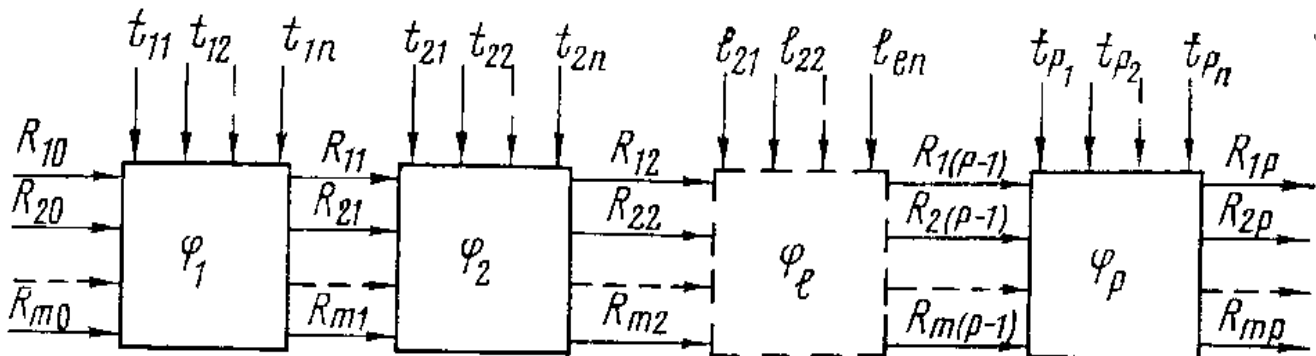


Рис. 3. Структурная схема многомерного технологического процесса

При изготовлении детали коррозионную стойкость технологическими методами можно обеспечить за счет создания определенного качества поверхностного слоя при механической или термической обработке и повысить за счет использования ингибиторов коррозии и различных защитных покрытий: неметаллических и металлических.

Тогда для описания влияния технологической наследственности рассматриваемой операции на изменение какого-либо параметра, например, шероховатости поверхности можно использовать зависимость:

$$R_a = aR_{a\text{пред}} \quad (2)$$

Коэффициенты a и b для различных методов обработки определяются на основе многофакторного анализа с получением уравнения регрессии мультипликативного вида.

При этом необходимо отметить, что технологическая наследственная связь проявляется

не только в изменении одноименных характеристик, но и во взаимодействии с другими характеристиками точности и качества поверхности обрабатываемой заготовки.

При построении математических явлений технологических процессов коэффициент наследственности a_l может описывать влияние технологических факторов $t_{1l}, t_{2l}, \dots, t_{nl}$ на рассматриваемый параметр качества R_j для операции φ_l и может быть представлен в следующем виде [6]:

$$a_l = k_{l0} t_{l1}^{k_{l1}} t_{l2}^{k_{l2}} \dots t_{ln}^{k_{ln}} \quad (3)$$

где $k_{l0}, k_{l1}, k_{l2}, \dots, k_{ln}$ – эмпирические коэффициенты влияния технологических факторов.

Анализ подобных зависимостей показывает, что весь процесс может быть выражен в виде суммы действия окончательной операции и некоторой доли влияния предшествующих операций на исходное состояние заготовки S_0 ,

которые определяются коэффициентами наследственности a_i, \dots, b_i . Если на какой-либо операции φ_i коэффициент технологической наследственности $b_i = 0$, то это означает отсутствие влияния исходного качества состояния заготовки на окончательное состояние заготовки после данной операции, что может служить интерпретацией действия операции φ_i как непреодолимого «технологического барьера» по рассматриваемому параметру.

Изучение закономерностей проявления технологической наследственности в названных направлениях позволяет в определенной степени повысить эффективность управления этим процессом и тем самым открывает возможности достичь более высокой долговечности деталей машин и повысить надежность их работы с сокращением затрат на их изготовление.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ящерицын, П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. – Минск: Наука и техника, 1971. – 210 с.
2. Рыжов, Э.В., Горленко, О.А. Влияние технологической наследственности на формирование микронеровностей // Сборник «Микрогеометрия и эксплуатационные свойства деталей машин». – Рига: Изд. «Зинатне2, 1972. – С. 12-14.
3. Аверченков, В.И., Рыжов, Э.В., О влиянии технологической наследственности при электромеханической обработке на износостойкость трущейся пары // Теория и практика алмазной и абразивной обработки деталей машин: Тез. докл. Всесоюзной конф. – М., 1973. – С. 5-6.
4. Рыжов, Э.В., Бауман, В.А. Влияние технологической наследственности на качество поверхности при обработке поверхностным пластическим деформированием (ППД) // Вестник машиностроения. – 1973. – №10. – С. 59-62.
5. Рыжов, Э.В., Суслов, А.Г., Федоров, В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 176с.
6. Ящерицын, П.И., Рыжов, Э.В., Аверченков, В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. – Минск: Наука и техника, 1977. – 256 с.
7. Рыжов, Э.В., Аверченков, В.И. Выбор оптимальных сочетаний методов обработки с учетом действия технологической наследственности // Исследование и оптимизация процессов механической обработки при автоматизации технологического проектирования: сб. науч. тр. – Владивосток, 1977. – Вып. 7. – С. 6-8.
8. Рыжов, Э.В., Аверченков, В.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
9. Дальский, А.М., Васильев, А.С., Кондаков, А.И. Технологическое наследование и направленное формирование эксплуатационных свойств изделий машиностроения // Известия вузов, машиностроение. – 1996. – №10-12. – С. 70-76.
10. Дальский, А.М. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев и др. – М.: Изд. МАИ. 2000. – 364 с.
11. Суслов, А.Г., Дальский, А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
12. Петренко, А.П. Технологическая наследственность и ее зависимость от распределения характеристик поверх-

ностного слоя некоторых сталей и сплавов при тчении и шлифовании // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – №8. – С. 25-30.

13. Расторгуев, Г. Технологическая наследственность и надежность в машиностроении. Теоретические и экспериментальные аспекты. – М.: Изд. «Palmarium», 2014. – 180 с.

14. Хейфец, М.Л., Васильев, А.С., Кондаков, А.И., Танович, Л. Технологическое управление наследованием эксплуатационных параметров качества деталей машин // Вестник национальной академии наук Беларуси. – 2015. – №3. – С. 10-22.

REFERENCES

1. Yashcheritsyn, P.I. Technological heredity and operation properties of parts ground. – Minsk: *Science and Engineering*, 1971. – pp. 210.
2. Ryzhov, E.V., Gorlenko, O.A. Technological heredity impact upon micro-irregularities formation // *Collection "Micro-geometry and Machinery Operation Properties"*. – Riga: "Zinatne2" Publishing House, 1972. – pp. 12-14.
3. Averchenkov, V.I., Ryzhov, E.V. On technological heredity impact at electro-machining upon wear-resistance of friction couple // *Theory and Practice of Diamond and Abrasion of Machinery: Abstracts of Reports of the All-Union Conf.* – M.: 1973. – pp. 5-6.
4. Ryzhov, E.V., Bauman, V.A. Technological heredity impact upon surface quality at working with surface plastic deformation (SPD) // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 1973. – No. 10. – pp. 59-62.
5. Ryzhov, E.V., Suslov, A.G., Fyodorov, V.P. *Technological Support of Machinery Operation Properties*. – M.: Mechanical Engineering, 1979. – pp. 176.
6. Yashcheritsyn, P.I., Ryzhov, E.V., Averchenkov, V.I. Technological heredity in mechanical engineering. – Minsk: *Science and Engineering*, 1977. – pp. 256.
7. Ryzhov, E.V., Averchenkov, V.I. Optimum combination choice of machining methods taking into account technological heredity // *Investigation and Optimization of Machining Processes at Technological Design Automation: Transactions*. – Vladivostok, 1977. – Edition 7. – pp. 6 – 8.
8. Ryzov, E.V., Averchenkov, V.I. *Engineering Process Optimization of Machining* – Kiev: Scientific Thought, 1989. – pp. 192.
9. Dalsky, A.M., Vasiliev, A.S., Kondakov, A.I. Technological heredity and directed formation of operation properties of engineering products // *College Proceedings, Mechanical Engineering*. – 1996. – No. 10-12. – pp. 70-76.
10. Dalsky, A.M., *Technological Heredity in Mechanical Engineering* / A.M. Dalsky, Bazrov, A.S., Vasiliev et al. – M.: MAI Publishers, 2000. – pp. 364.
11. Suslov, A.G., Dalsky, A.M. *Scientific Fundamentals of Engineering Techniques*. – M.: Mechanical Engineering, 2002. – pp. 684.
12. Petrenko, A.P. Technological heredity and its dependence upon surface layer characteristics distribution of some steels and alloys at turning and grinding // *Aero-Space Engineering and Technologies*. – 2007. – No.8 – pp. 25-30.
13. Rastorguev, G. *Technological Heredity and Reliability in Mechanical Engineering. Theoretical and Experimental Aspects*. – M.: "Palmarium" Publishing House, 2014. – pp. 180.
14. Heifetz, M.L., Vasiliev, A.S., Kondakov, A.I., Tanovich, L. Technological control in heredity of quality operation parameters in machinery // *Bulletin of National Academy of Belarus*. – 2015. – No.3. – pp. 10-22.

Рецензент д.т.н. Ю.В. Блюменштейн