

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

621.9

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Асп. В.С. ЦЫГАНОВ

Предложен экспериментально проверенный подход к построению моделей, позволяющих прогнозировать изменения качества предмета производства в технологических процессах изготовления деталей. Использование моделей позволяет выполнять сквозное прогнозирование изменения значений показателей качества в процессах любой структуры, объединяющих операции, базирующиеся на технологических методах разной физической природы, что существенно повышает надежность обеспечения качества изделий при технологическом проектировании.

Situation modeling experimentally validated approach allowing forecasting any changes in quality of products in technological processes of components manufacture. Using these models one can make an open prediction of changing values of quality in processes of any structure, uniting operations based on a variety of technological methods of physical nature. That essentially increases reliability of product quality at process engineering.

Технический прогресс, стремление обеспечить конкурентоспособность выпускаемых машин привели к существенному увеличению доли наукоемких изделий на машиностроительном рынке. Для таких изделий характерны высокие требования к качеству. В частности, для ряда деталей современных машин требования к точности размеров отдельных поверхностей соответствуют 3 качеству при гармонизированных с ними требованиях к другим группам показателей качества (ПК).

Обеспечение указанных требований делает насущно необходимым изменение методологии технологического проектирования. Применяющаяся методология, базирующаяся на эмпирических знаниях, опыте и эрудиции проектировщика позволяет сохранить высокий уровень неопределенности результатов проектирования. Спроектированный технологический процесс (ТП) требует тщательной производственной доводки, дополнительных затрат времени и средств, что в целом снижает конкурентоспособность изделий.

Сокращению затрат при сохранении высокого качества проектных решений способствовал бы переход к новой методологии технологического проектирования, основанный на моделировании проектируемых ТП и количественном прогнозировании ожидаемых значений ПК на любом из этапов изготовления изделий. При этом появляется возможность направленного формирования свойств как отдельных деталей, так и машин в целом [1].

Предложенный [1] подход к описанию трансформации ПК предмета производства в ТП изготовления деталей учитывает как изменение ПК при технологических воздействиях, так и их сохранение (наследование). Вместе с тем, разработанный математический аппарат и информационное обеспечение относятся лишь к ТП, объединяющим методы единой физической природы – обработки резанием.

Изготовление деталей наукоемких изделий основано на применении в ТП разнообразных по физической природе технологических методов. Закономерности формирования

ПК в таких ТП зависят от состава используемых технологических методов, но в большей степени от структуры процессов. Прежде всего это относится к влиянию наследственных связей на формируемые значения ПК (рис. 1).

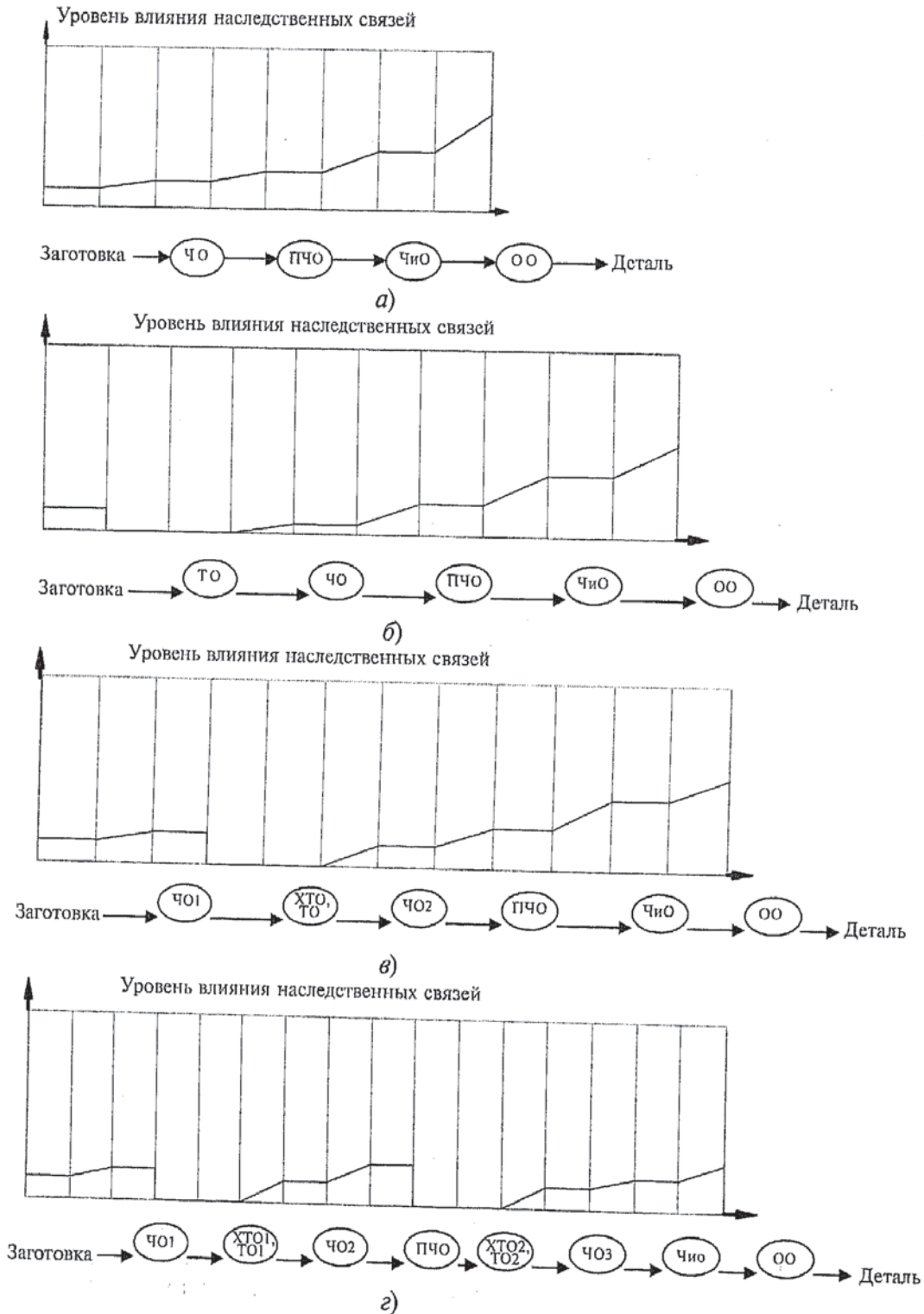
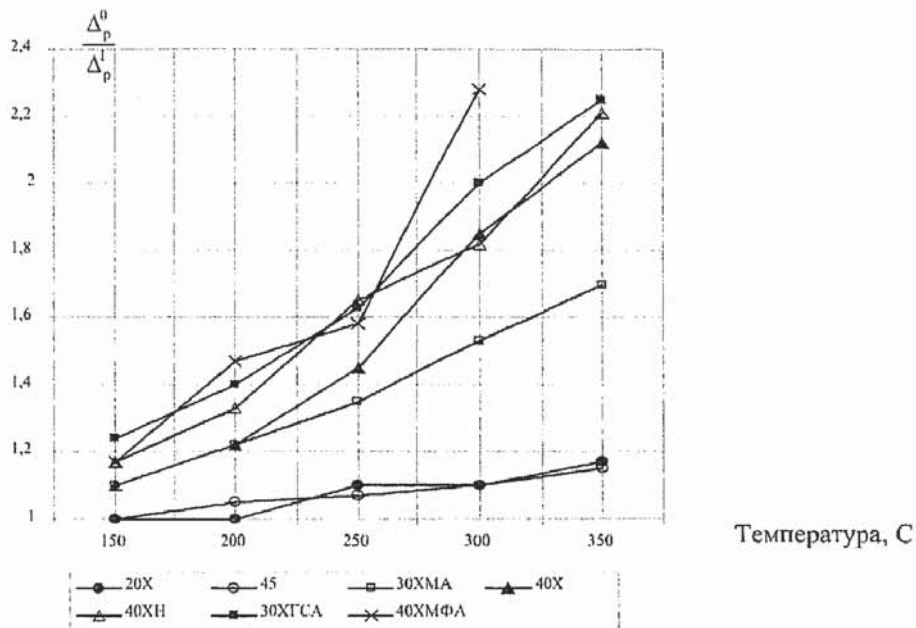


Рис. 1. Наиболее характерные структуры маршрутных ТП изготовления деталей машин и изменения уровня влияния наследственных связей на ПК: а — процесс без термической обработки (ТО), ЧО, ПЧО, ЧиО, ОО — черновая, полустовая, чистовая, окончательная обработка; б — процесс, начинающийся с ТО; в — процесс с ТО или химико-термической обработкой (ХТО) после ЧО; г — процесс с несколькими ТО, ХТО

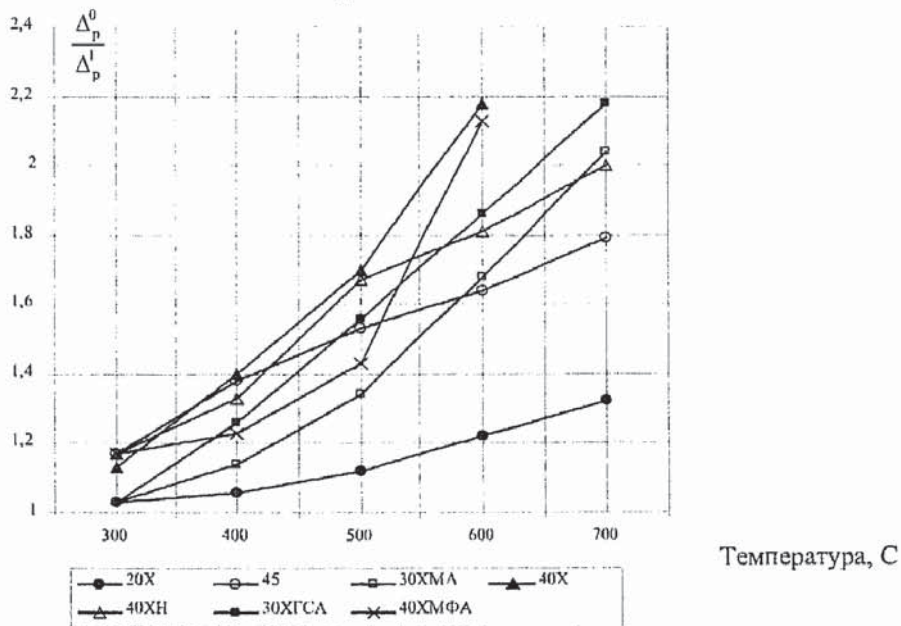
Операции термической обработки (ТО), входящие в ТП изготовление деталей, кардинально изменяют закономерности формирования ПК за счет:

- а) пресечения «цепочек» наследования свойств и изменения его характера [2];
- б) изменения свойств обрабатываемого материала, а, следовательно, изменения состава применяемых после ТО технологических методов и условий обработки;
- в) значительных нецелевых (возможных) изменений ПК.

К нецелевым относят изменения ПК предмета производства, произошедшие при технологическом воздействии, но не являющиеся его целью. Типичным нецелевым изменением является, например, изменение поля рассеяния размеров заготовок после ТО (рис. 2, 3).



а)



б)

Рис. 2. Изменение соотношений выходных (Δ_p^0) и входных (Δ_p^1) значений рассеяния размеров при отжиге (а) и отпуске (б) заготовок из сталей

Для нецелевых изменений свойственен вероятностный характер, приводящий к росту неопределенности результатов проектирования. Вместе с тем, существует возможность (рис.2, 3) получение для каждого вида ТО достаточно простых линейно аппроксимируемых моделей зависимостей характеристик рассеяния ПК от температуры, как основного параметра режима ТО.

Целевые изменения ПК при реализации отдельного технологического метода могут быть представлены в форме

$$[p^0] = \left[\frac{\Delta(p^0)}{\Delta(p^i)} \right] [p^i], \quad (1)$$

где $[p^i]$, $[p^0]$ — векторы-столбцы входных и выходных для реализующегося технологического метода ПК соответственно; $\left[\frac{\Delta(p^0)}{\Delta(p^i)} \right]$ — диагональная матрица значений

отношений выходных и входных полей рассеяния для ПК, целевым образом изменяющихся при реализации технологического метода. Значение $\Delta(p_i^0)/\Delta(p_i^i)$ для каждого (i) ПК определены путем обработки статистического материала о результатах реализации каждого отдельно взятого технологического метода.

Нецелевые изменения ПК, в частности, для методов термической обработки определяются в зависимости от ее вида и режима для конкретного материала по линеаризованным зависимостям, аналогичным представленным на рис. 2, 3.

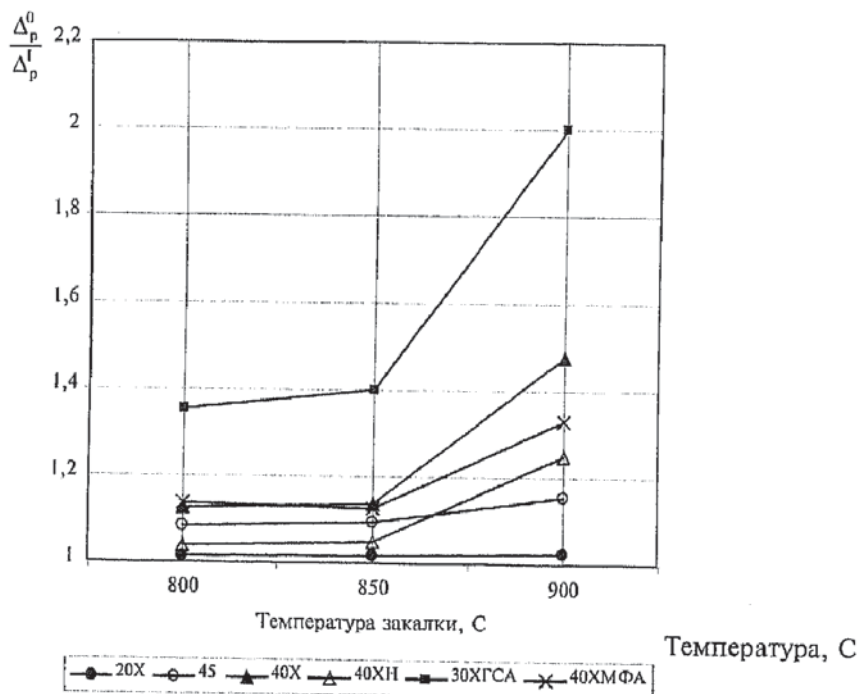
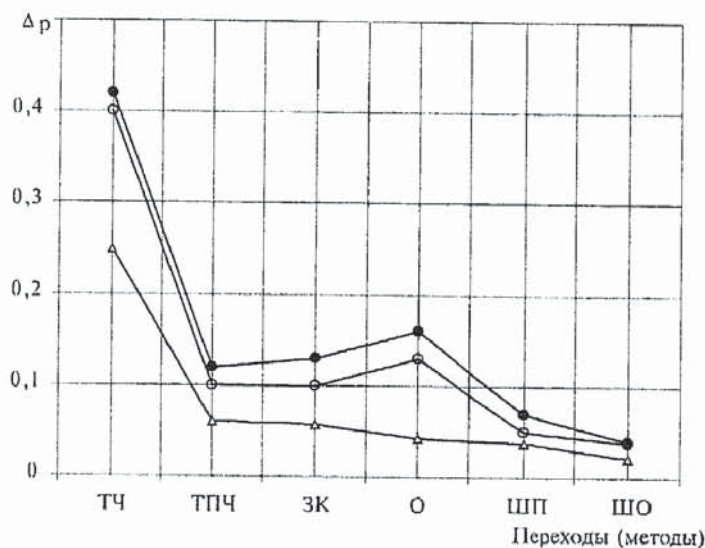


Рис. 3. Изменение соотношений выходных (Δp^0) и входных (Δp^i) значений рассеяния размеров при закалке заготовок из углеродистых и легированных сталей: — закалка в воду; - - — закалка в масле

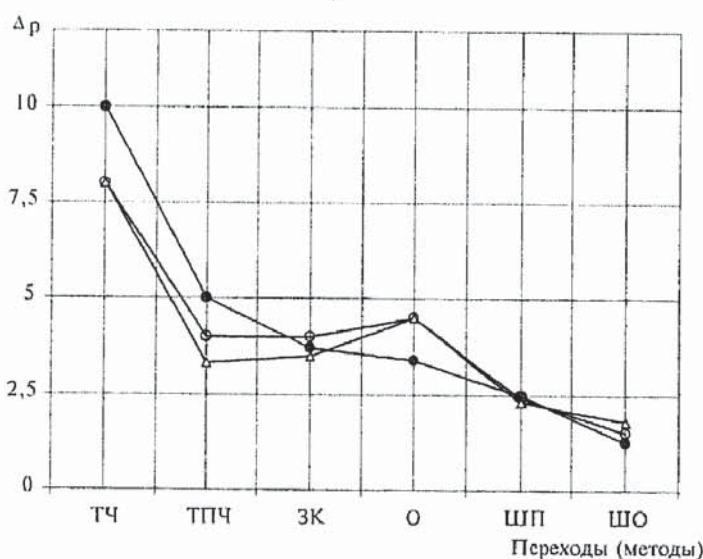
Трансформация значений ПК в ТП изготовления деталей с учетом как целевых, так и возможных изменений ПК при реализации конкретных технологических методов, а также сохранение (наследование) свойств описывается соотношением

$$[p^{ON}] = \left[\frac{\Delta(p^0)}{\Delta(p^i)} \right] [p^{IN}, p^{O(N-k)IN}] + \sum_{i=1}^{l=L} [k_{i\ell}] [p^{O(N-k)IN}], \quad (2)$$

где $[p^{ON}]$ — вектор-столбец выходных значений ПК для реализующегося в ТП N -ым по порядку технологического метода (в форме самостоятельной операции или в форме отдельного перехода); $[p^{IN}]$ — вектор-столбец входных значений ПК исходной заготовки, целевым образом изменяемых при реализации N -го технологического метода в ТП; $[p^{O(N-k)IN}]$ — вектор-столбец значений ПК, являющихся выходными для методов, предшествующих N -ому, но изменяемых, или оказывающих влияние на формируемые методом N ПК; $[k_{i\ell}]$ — матрица значений коэффициентов изменения i ПК в зависимости от ПК ℓ ($i, \ell = 1, \dots, L; i \neq \ell$). Соотношение (2) базируются на уравнении трансформации ПК, предложенном [1], но является его более общей формой.



а)



б)

Рис. 4. Изменения отклонения размера обрабатываемой поверхности образца (Δp) и среднего арифметического отклонения профиля шероховатости (Ra): З — заготовка; ТЧ — точение черновое; ТПЧ — точение полуступовое; ЗК — закалка; О — отпуск; ШП — шлифование предварительное; ШО — шлифование окончательное

Выражения (1), (2), а также зависимости, определяющие нецелевые (возможные) изменения ПК (рис. 2, 3) представляют собой модель прогнозирования значений ПК в ТП, инвариантную физической природе технологических методов, объединяемых в нем. Эта модель применима к любой структуре маршрутного ТП (рис. 1).

С целью экспериментальной проверки предложенной модели исследовалось изменение диаметрального размера и ПК обрабатываемой цилиндрической поверхности ($\varnothing 40h7$; Ra 1,25) образца. Заготовка — прокат (сталь 45) горячекатаный крутлый, нормальной точности (ГОСТ 2590-88). Маршрутный ТП структуры (рис. 1, в) включал операции точения (чернового и получистового), закалку, отпуск, шлифование (предварительное и окончательное). Обработаны 20 образцов. Измерения диаметральных размеров выполняли в двух сечениях по длине обрабатываемой поверхности и по трем направлениям в каждом сечении. Результаты эксперимента подвергали статистической обработке [3].

Анализ результатов эксперимента показал, что ТП, спроектированный на основе существующей методологии и общетехнологических принципов и правил не обеспечил номинально заданных значений ни по одному ПК. В реальных производственных условиях этот процесс потребовал бы корректировки как параметрического характера, например, изменения режимов получистовой и чистовой обработки, так и структурного — например, введения операции чистового точения.

Сравнивались значения ПК номинальные (заданные при проектировании ТП).

Фактические (определенные экспериментально в результате измерений образца), а также значения, определенные с использованием модели (1), (2). Изменения отклонения размера (Δp) и среднего арифметического отклонения профиля шероховатости (Ra) иллюстрирует рис. 4.

Выводы

1. Экспериментально доказано, что маршрутные ТП, спроектированные на основе существующей методологии и общетехнологических принципов и правил, могут не обеспечивать заданного качества изготовления деталей: номинально заданные и фактические значения ПК предмета производства существенно различаются.

2. Максимальные отклонения значений фактических и номинально заданных ПК возникают в зонах взаимодействия технологических методов разной физической природы, например, термической обработки и обработки резанием.

3. Предложенные модели изменения ПК предмета производства адекватны их фактическому изменению, относительная погрешность составляет не более 25% — 30%, при этом модели формируют реалистично-пессимистические оценки изменяющихся ПК.

4. Использование предложенных моделей позволяет выполнить сквозное прогнозирование изменения значений ПК в ТП любой структуры, объединяющих операции, базирующиеся на методах разной физической природы, что существенно повышает надежность обеспечения качества, в особенности сложных, наукоемких изделий при технологическом проектировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Направленное формирование свойств изделий машиностроения // А.С. Васильев, А. М. Дальский, Ю.М. Золоторевский и др. Под ред. д-ра техн. наук А.И. Кондакова. — М.: Машиностроение, 2005. — 352 с.
2. Дальский А. М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. — М.: Машиностроение, 1975. — 223 с.
3. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. — М.: Наука, 1969. — 512 с.