



Ключевые слова:
точность, технико-технологическая система, достижимая точность, технологический уклад, методы обработки

ТОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ В ЕЕ ИСТОРИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ

ЧАСТЬ 1*

Александр КУЗНЕЦОВ

Представлен системный подход к различным методам оценки и контроля точности и качества металлорежущих станков. Данна историческая ретроспектива эволюции понятия «точность» применительно к металлорежущим станкам. Показаны тенденции и перспективы развития точности станков при смене технологических укладов

Научно-технический прогресс в области материального производства обусловлен применением научных и технических достижений, базирующихся на изучении физических процессов, явлений, систем и структур, способов, форм и видов их взаимодействий, приводящих к созданию более эффективных технологий, машин, оборудования, а также к совершенствованию существующих способов производства изделий.

Материальное производство, как система, состоит из двух элементов: предмета с присущими ему свойствами и технологии его изготовления. Это обуславливает принципиальную возможность развития такой системы в двух направлениях: совершенствование и создание либо нового предмета (машин, оборудования), либо новых технологий производства.

Совершенствование и создание новых предметов (деталей, устройств, механизмов и машин), вызываемое развитием нужд и потребностей общества, изменение и формирование новых функциональных и качественных свойств предметов, их характеристик и параметров обуславливают соответствующие требования к изменению, развитию и созданию новых процессов как технического, так и технологического оборудования, а также его (оборудования) технико-технологических и иных параметров и характеристик, в частности произ-

водительности, точности и эффективности, которая определяется затратами ресурсов на их создание и эксплуатацию.

Развитие сложных технико-технологических систем происходит в направлении достижения ими максимальной степени идеальности функционирования, что происходит как в рамках совершенствования существующих конструктивных решений, так и при принципиальном изменении конструктивных решений, основанных на новых физических принципах или их сочетаниях. Такое направление развития определяется и обуславливается всесторонним использованием глубинных физико-химических свойств материи и энергии при их взаимодействии. Это приводит к переходу на новый уровень структурных составляющих технико-технологических систем – с макро- до микро- и наноуровня.

Требования к необходимости достижения изделиями высоких показателей степени идеальности (точности) и ее постоянный рост особенно ярко проявляются в астрономическом и медицинском приборостроении, авиационной, космической, атомной, электронной, биологической и некоторых других отраслях.

Металлорежущие станки, технологическое оборудование и системы являются основными средствами производства деталей, выступающих в качестве элементной базы для всех перечисленных выше отраслей промышленности, поэтому к ним предъявляются еще более жесткие требования по точности, производительности и эффективности.

* Продолжение в журнале «СТАНКОИНСТРУМЕНТ». 2017. № 4.

Высокие требования к достижимым параметрам точности обрабатываемых на станках изделий обуславливает необходимость постоянного увеличения точности самих металлорежущих станков. В течение многих десятилетий инженерами и специалистами постоянно проводятся работы по достижению требуемых высоких параметров и характеристик точности станков, формирование которых происходит на всех этапах их жизненного цикла – при проектировании, производстве и промышленной эксплуатации.

Представления, понятия и степень их глубины, системность и адекватность модели формирования указанных характеристик и описание процесса их функционирования является важнейшим средством познания их состояния, эволюции и тенденций развития.

Различные подходы к методам оценки и контроля точности и качества металлорежущих станков, разнообразие терминологических понятий и характеристик, несоответствие предпочтительности способов оценки станков потребителями и изготовителями обусловлены широким спектром представлений о выходных параметрах точности станков, которые априори предполагаются одинаково понимаемыми всеми, допускают аналогичное толкование и содержат одну и ту же смысловую нагрузку.

Структура выходных параметров точности металлорежущего станка и их взаимосвязь с выходными параметрами технологической системы, реализующей процесс обработки металлов резанием, результатом которого является изделие, свойства которого, в частности достигаемая точность обработки, формируются во время осуществления технологического процесса его обработки, характеризуют качество всего технологического процесса и являются его естественными выходными параметрами. При этом, технологический процесс рассматривается как последовательность или совокупность взаимосвязанных технологических состояний, позволяющих оценить показатели качества выходных параметров (например, геометрической точности), достигаемых в результате выполнения отдельных технологических операций.

Таким образом, технологическая система, построенная на основе металлорежущего станка, предназначена для осуществления всего технологического процесса обработки резанием либо его определенной информационно и технологически законченной части, выполняемой на одном рабочем месте, и обеспечивает формирование изделия с заданными свойствами, а под выходными параметрами технологической системы, одним из элементов которой является станок, понимают дости-

гаемые точность и/или производительность выполняемого технологического процесса. В этом случае под показателями качества обрабатываемых изделий, характеризующими отдельные их свойства, понимают точность размера, формы и расположения обрабатываемых поверхностей, их шероховатость и физико-механические параметры.

В качестве выходных параметров точности станка также используются точность размеров, формы и расположения поверхностей обрабатываемых деталей, а по величинам их отклонений оценивается точность металлорежущего станка. Очевидно, что одни и те же выходные параметры не могут одновременно объективно характеризовать точность и качество как станка, являющегося элементом технологической системы, так и всю технологическую систему, выходные параметры которой формируются совокупностью всех ее элементов, каждый из которых вносит свой вклад и имеет собственную долю влияния на параметры и свойства изделия. Хотя обработанная на станке деталь и концентрирует в себе свойства технологической системы и их проявление всеми ее элементами, но это не позволяет объективно судить о выходных параметрах каждого элемента в силу сложных взаимосвязей и взаимодействий между всеми элементами технологической системы.

Поэтому для более достоверной оценки точности и качества станков необходимо определить такие их выходные параметры, которые объективно отражают свойства станка, обусловленные его функциональным назначением, и которые могут быть рассчитаны, оценены и/или определены экспериментально.

Рассмотрим в исторической перспективе понятие точность применяемое в отношении металлорежущих станков.

«Представляя общую поверхность детали, состоящей из отдельных участков, отождествляемых с некоторыми геометрическими образами, мы можем говорить о соответствии реальной и заданной детали в четырех направлениях: точность формы, точность размеров, точность взаимного расположение и чистота поверхности» [1, с. 6].

«Понятие «точность» относится к сравнению двух деталей – реальной и заданной, различие между которыми обусловлено несовершенством изготовления. Конструктивные различия (варианты конструкций) к понятию точность отношения не имеют» [1, с. 5–6].

«Точность – один из важнейших показателей качества машин, существенно влияющих на все критерии работоспособности их механизмов, а следовательно, и на выходные показатели машин: быстроходность, энергетическую эффективность, материалоемкость, надежность и долговечность. Точность технологических машин в решающей сте-

пени определяет точность изделий.... Проблема точности станков является первостепенной» [2, с. 3].

«Точность – это разница между фактическим и номинальным значением. Ее также называют как «ошибка» [3, с. 226].

«Точность – максимальная линейная или угловая погрешность (ошибка, отклонение) между любыми двумя точками в рабочем объеме станка» [4, с. 58].

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 «точность (accuracy) – степень близости результата измерения к принятому опорному значению. Термин точность, когда он относится к серии результатов измерений (испытаний) включает сочетание случайных составляющих и общей систематической погрешности. Принятое опорное значение служит в качестве согласованного для сравнения и получено как теоретическое или установленное значение, базирующиеся на научных принципах, прописанное или аттестованное, базирующиеся на экспериментальных работах, согласованное или аттестованное, базирующиеся на совместных экспериментальных работах математическое ожидание измеряемого значения лишь в случае, когда предыдущие три недоступны.

«Одной из основных характеристик, определяющих функционирование механизма, является точность его работы. Точность механизма характеризуется разностью фактических и расчетных значений параметров механизма» [5, с. 5], которые рассматриваются как «ошибка механизма» [6, с. 3], а «идеальный механизм, осуществляет предписанный закон движения с абсолютной точностью или воспроизводит заданную зависимость с абсолютной точностью» [7, с. 7].

«Точность определяется как близость между эталонным и полученным значением величины. В инженерных системах точность – это максимальная ошибка поступательного или вращательного движения между заданным и фактическим положением» [11, с. 14]. Причем эта ошибка рассматривается как вдоль линии перемещения, в плоскости между двумя произвольно расположенными точками, так и в объеме – между точками расположенными в пространстве [9, с. 59, 60].

«Танигучи, говоря о точности, понимал прецизию, точность и шероховатость, но не повторяемость... мы заинтересованы в понятиях точность, повторяемость и разрешение. Разные авторы имеют немного отличающиеся представления относительно этих понятий. Когда люди говорят о «точности станка», то часто подразумевают широкий смысл исполнения станка. Например, под понятием *точность станка* может подразумеваться разрешение, повторяемость и точность в том же самом значении понятия» [9, с. 49] (рис. 1, 2). Потребителями метал-

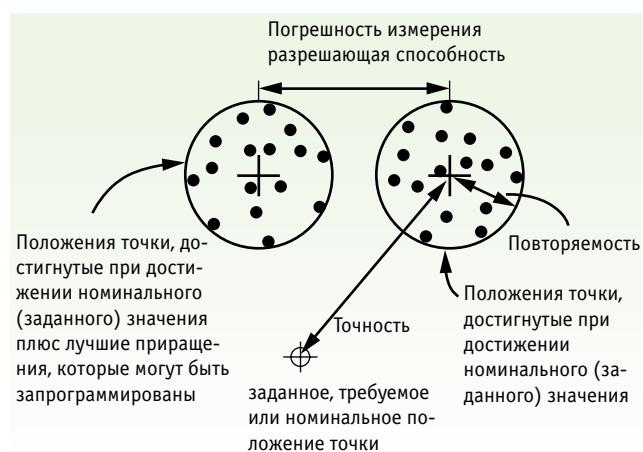


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая понятия точность, повторяемость и разрешение [4, 10]

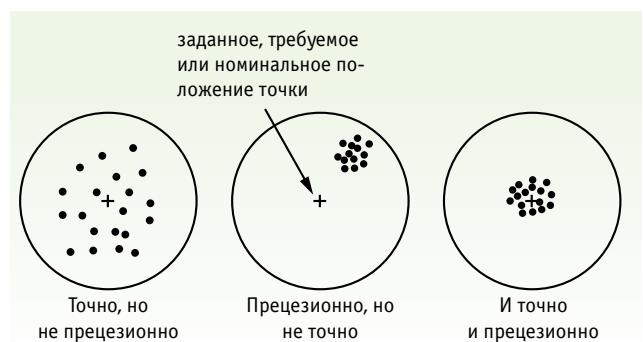


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая понятия точность и прецизию [10]

лорежущих станков предпочтение отдается, прежде всего, понятию «достигнутая точность обработки» деталей на этих станках.

Поэтому разнообразие характеристик терминологического понятия «точность станков», при всей их относительной близости и содержательном представлении, и широкий спектр выходных параметров станков требуют их рассмотрения и обобщения с позиций системного единства.

Для этого рассмотрим энергоинформационную модель, основным результатом функционирования которой является производство деталей с заданными свойствами, параметрами и характеристиками (рис. 3). Применительно к процессам обработки металлов резанием, результатом которых является деталь, на этом рисунке приведена структура взаимосвязей физических процессов и формируемых ими свойств детали. Выделены составляющие элементы системы, которые обеспечивают формирование размера детали – физический процесс I, осуществляющий инструментом, и поверхности детали – физический процесс II формообразования поверхности,

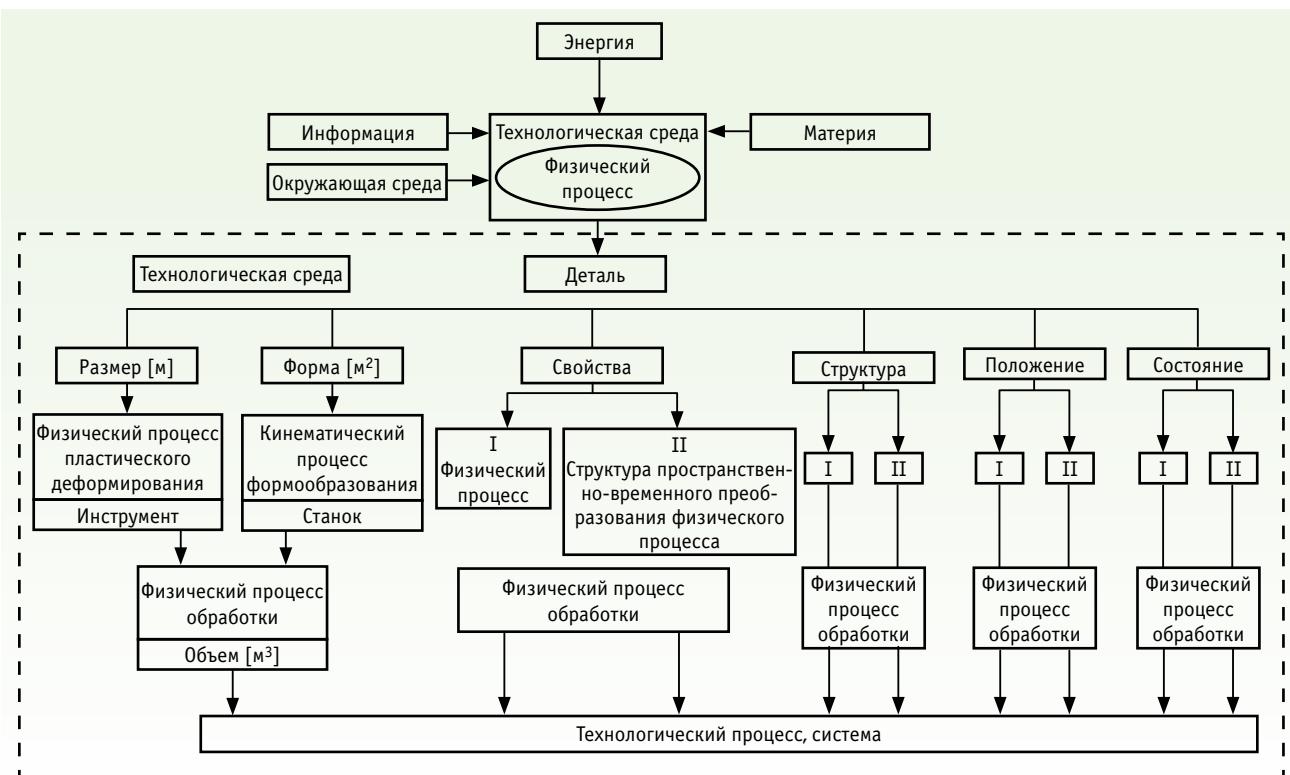


Рис. 3. Энергоинформационная модель технологического оборудования, процесса, системы, взаимосвязей видов физических процессов и свойств детали

осуществляемый рабочими органами станка. Другие характеристики и параметры, которые описывают свойства (информационный образ) детали формируются иными методами обработки в соответствии с технологическим образом детали.

Следовательно, технологический процесс (ТП) производства детали – это множество физических процессов I (на рис. 3 для обработки резанием применено понятие *физический процесс пластического деформирования*, обуславливающий получение размера) и соответствующее ему множество структур пространственно-временных законов преобразования положения II физического процесса (на рис. 3 – кинематический процесс формообразования, который определяет получение требуемой формы детали). Для достижения другого требуемого свойства детали, например твердости, необходимы другие физические процессы (отличные от пластического деформирования) и соответствующие законы их пространственно-временного преобразования.

В зависимости от вида энергии, направленного и осуществляющего изменение состояния, структуры и свойств материала, количества и способа передачи информации различают виды реализуемых технологических процессов: обработка резанием (механообработка), обработка давлением, литье, сварка, термическая обработка и другие.

Информация о количественных, качественных, геометрических параметрах, форме, структуре, состоянии, положении и свойствах изделия (предмета, детали), заключенная в его описании или чертеже, является **информационным образом изделия**.

Информация о геометрических параметрах, форме изделия и их свойствах, заключенная в ее описании или чертеже, является **геометрическим образом изделия**.

Информация о последовательности преобразования материи, энергии и информации, заключенная в документах, определяющих модель последовательного достижения равенства (в широком смысле) информации о материальном объекте и его информационном образе, – **технологический образ изделия**.

Образы, которые характеризуются неизменностью одного или нескольких свойств, будем называть **единичными образами**.

Образы, которые не изменяют свои заданные свойства, будем называть **номинальные** или идеальные образы. Тогда реальные образы – это изделия, информационное содержание которых описывается фактическими, реальными свойствами, формируемыми в технологическом процессе производства – при взаимодействии материи, энергии и информации.

Информация о геометрических параметрах, форме и свойствах изделий характеризует виды технологий:

- нанотехнологии – характерный геометрический размер менее $10^{-7}\div10^{-9}$ м;
- микротехнологии – характерный геометрический размер $10^{-7}\div10^{-5}$ м;
- обычные или традиционные технологии – характерный геометрический размер больше 10^{-3} м.

Изменения, деформации, искажения свойств и отношений соответствующих образов, обуславливают и определяют их качественные и количественные показатели, параметры и характеристики. К таким показателям можно отнести точность, производительность, надежность, энерго- и материоемкость и т.п.

Например, *точность технологического процесса* определяется уровнем соответствия или степенью приближения реальных свойств, параметров и характеристик процесса получения изделия (предмета, продукта или детали) его образу (информационному, геометрическому, технологическому) – номинальному, заданному или идеальному значению. Поэтому, необходимо различать следующие терминологические аспекты понятия «точность»:

- точность изделия, физически (реально) достижимая точность, энергетически достижимая точность;
- точность физического процесса;
- технологическая точность;
- точность машины, оборудования, производственной системы;
- структурная точность;
- эффективная точность и т. п.

Таким образом, точность (accuracy) – степень соответствия свойств(а) предмета, объекта, системы, процесса, явления его номинальному, заданному, установленному, допустимому, идеальному значению или закону.

Информационное определение: точность – разность массивов информации, описывающих идеальные свойства объекта и их реальное, фактическое значение.

Математическое понятие: точность – отклонение детерминированное, векторное или отклонение величины поля состояния свойств объекта относительно его теоретического значения (положения).

Структурное определение: точность – степень отклонения связей и/или отношений между элементами структуры.

Элементами структуры понятия точность, как системы, являются погрешности, ошибки (error) и отклонения свойств в поле состояния объекта.

Создание станков, в которых одновременно или последовательно выполняются различные

методы обработки разными инструментами, каждый из которых осуществляет независимо от другого линейное и/или вращательное движение, например токарно-фрезерные центры, фрезерно-шлифовальные станки дополнило традиционную классификацию новым классом, который по достаточно удачному термину, предложенному T. Moriwaki, получил название «Multi-functional Machine Tool» (многофункциональные станки). Кроме этого, появилась группа станков под общим названием класса – «Multitask Machine Tool» (многозадачные станки), в которых применяются и другие физические принципы изменения свойств детали, например лазерная обработка и т.п. В связи с этим целесообразно ввести наименования групп и классов оборудования, которые отражают не только метод обработки – токение, сверление и т.п., количество которых достаточно велико, – а в первую очередь физические принципы, реализуемые этим оборудованием. Например, возможны следующие группы:

1. Оборудование, которое реализует взаимодействия:
 - 1.1. «Твердое тело» – «Твердое тело»
 - 1.2. «Твердое тело» – «Состояние среды»
 - 1.3. «Твердое тело» – «Физическое поле».
2. Оборудование, которое реализует комбинацию взаимодействия:
 - 2.1. «Твердое тело» – «Твердое тело» – «Состояние среды»
 - 2.2. «Твердое тело» – «Твердое тело» – «Физическое поле»
 - 2.3. «Твердое тело» – «Состояние среды» – «Физическое поле».
3. Оборудование, которое реализует взаимодействие твердых тел и полей без изменения параметров, свойств и характеристик детали:
 - 3.1. Контрольно-измерительные машины.
 - 3.2. Контрольно-измерительные приборы и устройства.
 - 3.3. Ручные средства контроля и измерения.

В свою очередь, физический процесс взаимодействия, реализуемого в оборудовании, как системе, также может быть как однородным, например, пластическое деформирование, так и множественным, например, пластическое деформирование (резание) и плавление (шлифование), пластическое деформирование (резание) и нагрев лазерным лучом и т.п., которые по времени могут происходить одновременно или последовательно и в разных технологических средах, например в среде инертных газов и др. В этом случае реализуются так называемые гибридные технологии, разнообразие которых достаточно велико.

Размер, который требуется обеспечить любым из указанных методов взаимодействия, характеризует

ся как требуемое расстояние между взаимодействующими объектами (телами, полями, состояниями) в направлении перпендикулярном к поверхности продукта, которое является необходимым и достаточным и обусловлено законами протекания и осуществления физических процессов или явлений, в то время как форма поверхности определяется видом закона одновременных взаимосвязанных относительных движений (элементарных линейных и вращательных) объектов при непрерывном осуществлении физического процесса.

Металлорежущий станок, у которого физический процесс I (см. рис. 3) отсутствует, является измерительной машиной (СММ).

Следовательно, при таком системном энергоинформационном рассмотрении моделей структур различных видов технологического оборудования получим, исходя из вышеприведенного определения, *точность, как понятие*, которое содержательно отражает свойство размера (линейная или векторная величина) и как понятие, которое содержательно отражает свойства и характеристики законов положения, движения, состояний, взаимодействий.

Исторический процесс повышения точности проходил быстро. К 1776 году, согласно письму Уатта, можно было получить точность расточки цилиндра длиной 72 дюйма в толщину шестипенсовской монетки (т.е. 2000 мкм) [2, с. 4]. По данным Дж. Уилкинсона (1775 г.), расточка цилиндра диаметром 57 дюйма производилась с такой же достижимой точностью 2000 мкм [3, с. 11]. Темп роста достижимой точности изготовления особенно высок в наше время. Он возрастил в 10 раз за каждые 20 лет. Так, относительная погрешность изготовления в 1940 году составляла 10^{-4} , в 1960 году – 10^{-5} , в 1980 году – 10^{-6} м.

В научной литературе, приводятся схемы изменения достижимой точности обработки с 1900 по 1980 год с прогнозными значениями до 2000–2020 годов. Начиная с работы N. Taniguchi (1974, 1983 и 1994 гг.), последующие модификации этой схемы (по отношению к первоначальной) опубликованы с различной степенью полноты и детализации видов станков и технологических процессов в работах McKeown P.A. (1987 г.), Вугне G, Dornfeld D, Denkena B. (2003 г.). В этих работах также приведены схемы изменения достижимой точности обработки с 1900 по 1980 год с прогнозными значениями до 2000 года, а в работах S. Mekid 2009 года [11, с. 131] и CIRP Encyclopedia 2014 года [8, с. 798] приводятся данные до 2020 года (табл. 1).



Рис. 4. Схема изменения достижимой точности обработки

На рис. 4 приведена схема [19, с. 144], которая иллюстрирует изменение достижимой точности, а случайные составляющие на схеме добавлены из [17].

Необходимо заметить, что в настоящее время применяются следующие характеристики видов обработки и их обобщенных понятий, приведенных на рис. 4:

- традиционная (стандартная, ординарная) обработка включает: точение, фрезерование, прецизионное точение, шлифование, полирование, хонингование, обработку на станках с ЧПУ;
- прецизионные виды обработки: координатно-расточная, координатно-шлифовальная, суперфинишное полирование, шлифование, алмазное точение и шлифование;
- высокопрецизионная обработка: высокопрецизионное шлифование, притирание, полирование;
- ультрапрецизионная обработка: атомарная, молекулярная, ионно-лучевая, нанопроцессы и нанообработка.

В отличие от схемы N. Taniguchi (1974 г.), где было упомянуто три вида обработки – традиционная, прецизионная, ультрапрецизионная – на рис. 4 появилась дополнительная кривая между традиционной и прецизионной обработкой, что, по всей видимости, обусловлено необходимостью проиллюстрировать более строгое соблюдение пропорций расположения кривых с кратностью 10 ($10 - 0.5 - 0.05 - 0.005$ мкм). Это привело к дифференциации наименований и к появлению дополнительного вида высокопрецизионной обработки. В этом усматривается определенный смысл, так как все виды механической обработки лежат выше кривой высокопрецизионной обработки после 1980

Таблица 1. Прогноз изменения достижимой точности

Вид обработки	1920	1940	1960	1980	2000	2020 (Прогноз)
Традиционная, мкм	–	60	30	5	1	0,1
Прецизионная, мкм	–	75	5	0,5	0,1	0,03
Высокопрецизионная, мкм	75	5	0,5	0,05	0,01	$\geq 0,003$
Ультрапрецизионная, мкм	5	0,5	0,05	0,005	0,001	$\leq 0,3\text{ нм}$

года с потенциально достижимой точностью не более 0,01 мкм (10 нм).

Очевидно, что необходимо задаться вопросом о пределе достижимой точности и его обосновании, что авторами указанных схем не рассматривалось, поэтому пределы указаны неочевидно. Так как реально измерить достижимую точность в 2020 году пока невозможно, а вопрос необходимости и обоснованности затрат и усилий на достижение не совсем очевидного результата неоднозначен для каждого вида обработки, требуется достаточно строгий или вероятный в своем максимальном правдоподобии ответ. Кроме того, не ясен вопрос о виде и характере кривых за рамками рассмотренного периода (1990–1980 гг.) в обе стороны.

История исследований процесса резания металлов концептуально базировалась на следующей принципиальной физической постановке задачи, в которой принимались следующие положения:

- физическая модель – удаление (отделение) материала;
- физический процесс – деформирование упругое, пластическое;
- физическое явление – разрушение за счет образования дислокаций, трещин.

Пластическая деформация наступает при достижении касательными напряжениями уровня, соответствующего пределу текучести на сдвиг и завершается макроразрушением. Деформация происходит за счет скольжения, двойникования и относительного перемещения зерен. На атомарном уровне к внутризеренному сдвигу приводит движение дислокаций различными способами в плоскостях скольжения и двойникования, а к межзеренному сдвигу – диффузия точечных дефектов по границам зерен, при этом скорость диффузии вакансий уступает скорости движения дислокаций, которая соизмерима со скоростью распространения звука (порядка 5000 м/с).

На рис.5 показаны геометрические размеры для оценки вида процесса разрушения, как физического явления. Следовательно, модели образования и описание механизма процесса разру-

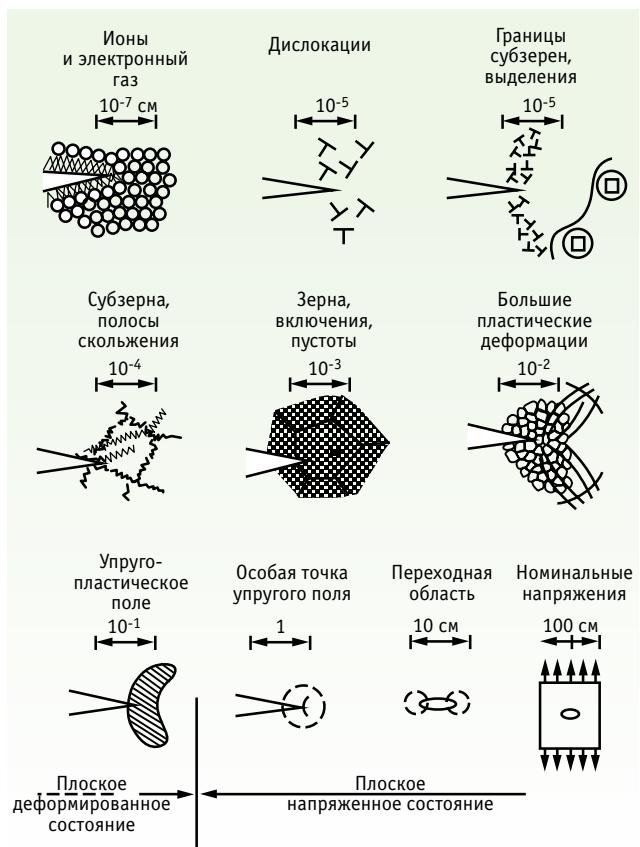


Рис. 5. Геометрические соотношения в схемах физического явления разрушения

шения можно разделить на уровни, определяемые относительно геометрического размера их рассмотрения:

- субмикроскопический уровень (атомные размеры порядка 10^{-9} м), когда происходит нарушение атомных связей;
- микроскопический уровень (размеры порядка $10^{-7}\text{--}10^{-6}\text{ м}$), когда образуются микротрещины по границам зерен;
- макроскопический уровень (размеры порядка 10 м), когда образуются трещины и происходит их рост из области концентрации напряжений.

Применительно к процессу обработки материала различают пластическое разрушение, которое происходит при пластической деформации по всему объему тела (обработка давлением), и хрупкое разрушение (обработка резанием), которое происходит за счет распространения трещины при пластической деформации, происходящей в малой области.

Рассматривая с энергетической точки зрения приведенные выше три уровня процесса разрушения, в табл. 2 приведены диапазоны значений удельной энергии, необходимой для выполнения собственно физического процесса резания – пла-

Таблица 2. Удельная энергоемкость видов разрушения при резании

Типоразмер съема стружки		Вид разрушения		Дефект	Удельная энергоемкость, Дж/м ³
вид	диапазон, м	хрупкое	сдвигом		
Атомарный	10 ⁻⁹ –10 ⁻⁷	Атомарная трещина	Атомарное смещение	Точечный	103 ÷ 104
Субкристаллический	10 ⁻⁷ –10 ⁻⁵	Микротрещина	Скользжение	Межкристаллический	102 ÷ 103
МультикриSTALLИЧЕСКИЙ	10 ⁻⁵ –10 ⁻³	Хрупкая трещина	Деформация сдвига	Межзрененный	101 ÷ 102

стической деформации материала, характер которой определяется физическим явлением, обусловливающим этот процесс (трещина, смещение, сдвиг) в соответствии с величиной снимаемого материала.

Развитие техники обусловило необходимость изменения тенденции развития и областей применения процессов резания, которые, как отмечалось, используются при обработке деталей разных геометрических размеров и с разной величиной срезаемого материала: субмикронное резание (10^{-6} м), микрорезание (10^{-5} – 10^{-6} м), тонкое резание (10^{-4} – 10^{-5} м), ординарное или традиционное резание (10^{-3} – 10^{-4} м), толстое или тяжелое резание ($> 10^{-3}$ м). Поэтому, если рассматривать физическую причину, то объяснение приведенных на рис. 4 значений достигаемой точности, которые, как это следует из вышеописанного механизма резания и его геометрической аналогии, обусловлены, в первую очередь, энергетическими и соответствующими им геометрическими характеристиками удалаемого резанием слоя материала. Возможность достижения металлорежущим станком технологически и конструктивно оправданного обеспечения уровня энергии, требуемого для соответствующего процесса резания, определяется уровнем развития преобразователей энергии, применяемых в металлорежущих станках наряду с другими составляющими, формирующими точность обработки. В идеальном случае, когда обеспечивается необходимый размер срезаемого материала, можно говорить об **энергетическом барьере уровня достигаемой точности** и соответствующем пределе достичимой точности.

Для более полного и всестороннего рассмотрения эволюции наших пред-

ставлений о точности, рассмотрим ее на протяжении обозримой истории в контексте эволюции техники (рис. 6) и технологических укладов (рис. 7), согласно циклам Н.Д. Кондратьева.

Развитие технического объекта по известной и широко распространенной схеме, так называемой S-образной кривой (рис. 6), происходит до уровня предельных возможностей развития для

физического принципа действия, который реализует рассматриваемый технический объект. В настоящее время считается, что мировая экономика в своем развитии прошла пять технологических укладов и приближается к шестому технологическому укладу (ТУ). В том числе:

- 1-й ТУ (1770–1830), ядро уклада – текстильная промышленность;

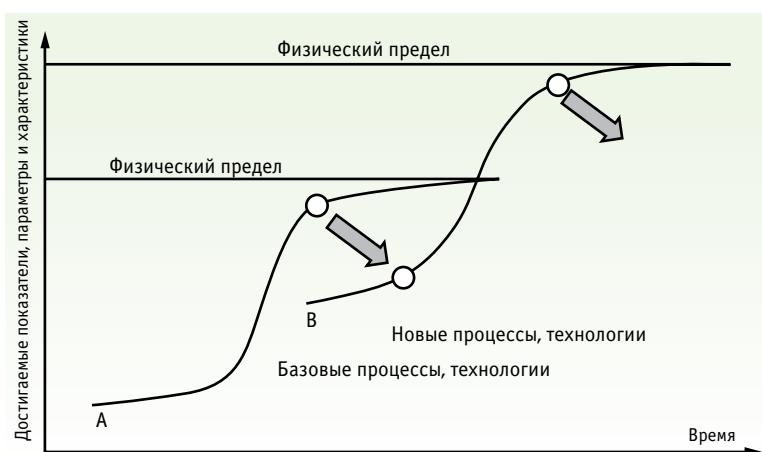


Рис. 6. Схема развития техники

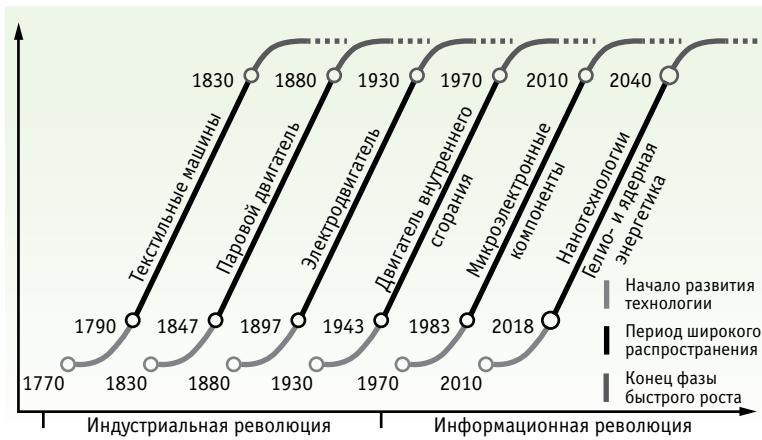


Рис. 7. Схема технологических укладов

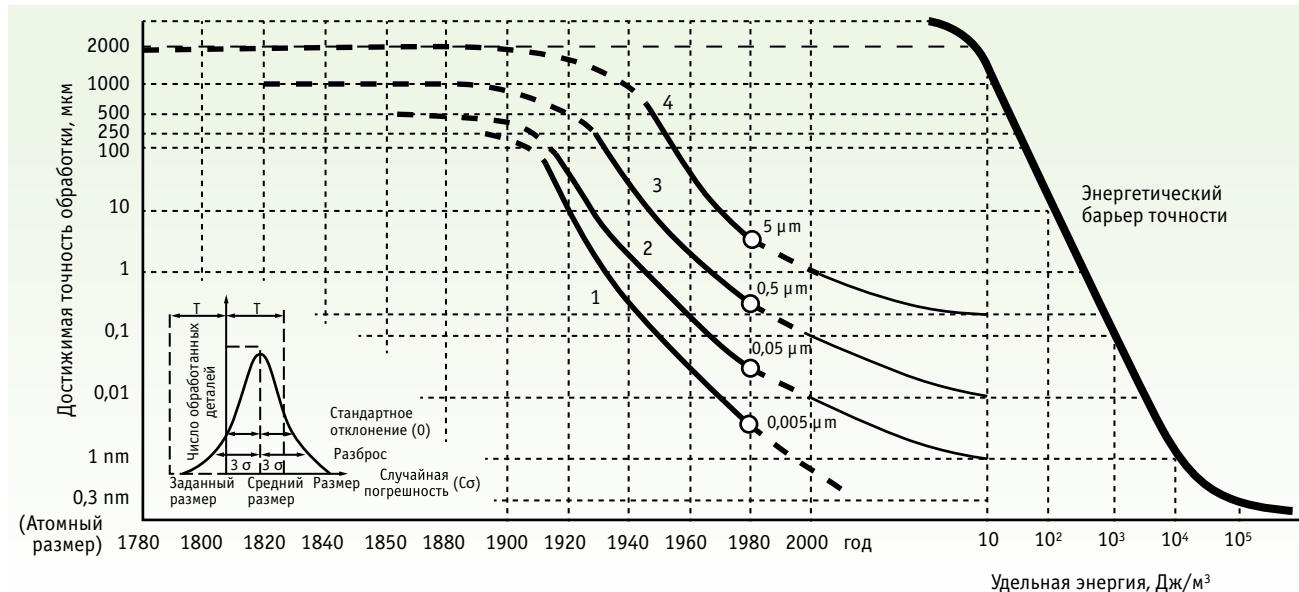


Рис. 8. Схема эволюции достижимой точности обработки: 1 – сверхвысокоточная (ультропрецизионная) обработка, 2 – высокоточная (высокопрецизионная) обработка, 3 – прецизионная обработка, 4 – стандартная (нормальная) обработка

- 2-й ТУ (1830–1880), ядро уклада – паровое судоходство, добыча угля, развитие железнодорожного транспорта;
- 3-й ТУ (1880–1930), ядро уклада – черная металлургия, железные дороги, кораблестроение, производство взрывчатых веществ;
- 4-й ТУ (1930–1970), ядро уклада – автомобилестроение, самолетостроение, нефтехимия;
- 5-й ТУ (1970 – н.в.), ядро уклада – электронная промышленность, вычислительная техника, оптико-волоконная техника, программное обеспечение, телекоммуникации.
- 6-й ТУ будет основываться на биотехнологиях, нанотехнологиях, робототехнике, технологиях виртуальной реальности и др.

Таким образом, эволюция развития достижимой точности и технологического оборудования, в частности металлорежущих станков, обусловлена, в первую очередь, требованиями, потребностями и направлениями развития общества и, в частности, промышленности. Это определяет и необходимый для этого уровень развития техники, требования к ее деталям, узлам, механизмам, устройствам и системам, потенциал технологий и процессов, используемые ими физические принципы и явления, уровень их совершенства и др. Следовательно, учитывая изложенное, представляется возможным процесс (эволюцию) изменения достижимой точности иллюстрировать рис. 8.

Очевидно, что высокие требования к параметрам точности обрабатываемых на станках изделий обуславливает необходимость постоянного увеличения точности самих металлорежущих станков. В течение

многих десятилетий инженерами и специалистами постоянно проводятся работы по достижению требуемых параметров точности станков на всех этапах их жизненного цикла – при проектировании, производстве и промышленной эксплуатации станков.

Как следует из представленных зависимостей изменения уровней достижимой точности обработки (рис. 8) изделий для нормальных, прецизионных, высокопрецизионных и ультрапрецизионных видов обработки, скорость изменения точности практически одинакова, а сама точность отличается на порядок, и, следовательно, точность самих металлорежущих станков должна как минимум соответствовать этому уровню. В качестве более очевидного и соответствующего принципам развития техники (рис. 7) рассматривается изменение величины обратной значениям достижимой точности обработки, которые приведены на рис. 9.

Непосредственная оценка характеристик точности станка дает возможность проводить качественное и количественное определение влияния различных конструктивных, технологических и иных факторов на точность обрабатываемых изделий и создает все необходимые предпосылки для разработки средств и методов управления рассматриваемыми свойствами точности станка при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Различные подходы к методам оценки и контроля качества металлорежущих станков, разнообразие терминологических понятий и характеристик, несоответствие предпочтительности способов оценки станков их потребителями и изготовителями обусловлены широким спектром представлений о выходных параметрах точности

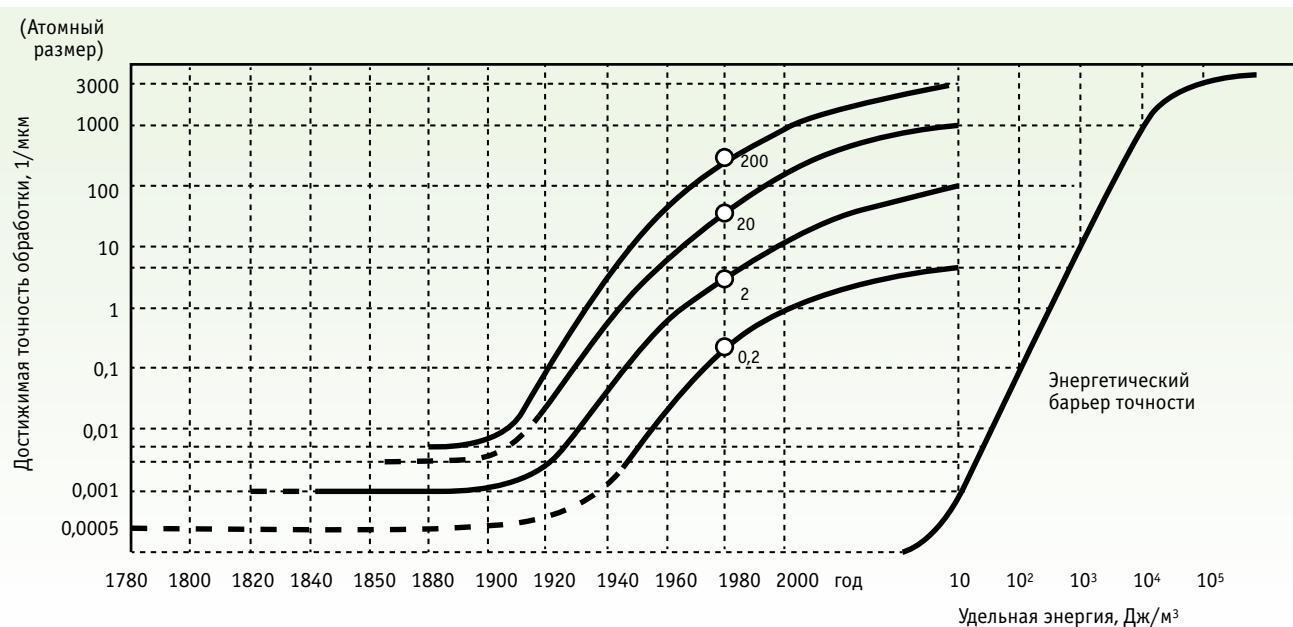


Рис. 9. Эволюционная схема развития достижимой точности обработки

станков, которые предполагаются всеми одинаково понимаемыми, допускают аналогичное толкование и содержат одну и ту же смысловую нагрузку. Очевидно, что одни и те же выходные параметры не могут одновременно объективно характеризовать точность и качество станка, как элемента технологической системы, так и всю технологическую систему, выходные параметры которой формируются совокупностью всех ее элементов, каждый из которых вносит свой вклад и имеет свою собственную долю влияния на параметры и свойства изделия – достижимую точность обработки.

Поэтому необходимо также рассмотреть эволюцию методов оценки точности металлорежущих

станков, ее структуру, взаимосвязи и модели, которые объясняют закономерности формирования, достижения и обеспечения требуемой точности, исходя из потенциала точности физических методов обработки, реализуемого металлорежущими станками и удовлетворяющих требованиям потребителей станков.

КУЗНЕЦОВ Александр Павлович –
доктор технических наук, профессор кафедры станков МГТУ «СТАНКИН»/МГТУ им. Н.Э. Баумана, директор по науке, инжинирингу и инновационному развитию АО «СтанкоПром»

Станки АРТА – надежность. Эксплуатация 24 часа в сутки / 24 месяца гарантии

С июня 2017 года НПК «Дельта-Тест» предоставляет расширенный 2-х годовой гарантийный срок на все новые станки АРТА. В течение 24 месяцев после пуско-наладки станка клиент может в любое время обратиться в сервисный центр НПК «Дельта-Тест» и получить качественную консультацию технического специалиста по любому вопросу. Как показывает практика, большинство вопросов по работе оборудования удаётся решить по телефону. Если телефонной консультации недостаточно, компания в любой момент готова направить профессионального инженера-наладчика к Вам на предприятие. Поскольку НПК «Дельта-Тест» – российская компания-производитель, она имеет возможность быстро реагировать на

запросы клиентов. Ждать специалистов неделями не придется – от запроса на ремонт до выезда инженера пройдет буквально несколько дней.

И еще один немаловажный факт: все основные изнашиваемые и запасные части имеются в наличии на складе НПК «Дельта-Тест» и в любой момент могут быть оперативно отправлены клиенту.

Активно работающий сервисный центр и склад в России – неоспоримое преимущество НПК «Дельта-Тест» перед иностранными конкурентами. Это хорошо известно тем клиентам, которые не раз сталкивались с неразрешимыми сложностями при запуске и обслуживании дорогостоящего импортного оборудования.