

И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров

Проектирование металлорежущих инструментов

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621
ББК 34.4
И11

И11 **И.И. Семенченко**
Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров – М.: Книга по Требованию, 2024. – 954 с.

ISBN 978-5-458-42078-5

Расчет и конструирование металлорежущих инструментов: 1) роль инструмента в народном хозяйстве; 2) геометрические и конструктивные элементы режущих инструментов; 3) требования, предъявляемые к качеству режущих инструментов; 4) материалы, применяемые для изготовления режущих инструментов, шлифовальные круги; 5) Абразивы, абразивные инструменты и изделия; 6) Алмазы и алмазные инструменты; 7) методы крепления инструментов и их зубьев в сборных конструкциях; 8) напильники; 9) резцы; 10) протяжки; 11) фрезы; 12) инструменты для обработки отверстий; 13) инструменты для образования резьбы; 14) инструменты для нарезания цилиндрических колес; 15) инструменты, работающие по методу огибания, для деталей с незвольвентным профилем; 16) инструменты для нарезания конических колес; 17) инструменты для автоматизированного производства

ISBN 978-5-458-42078-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

РОЛЬ ИНСТРУМЕНТА В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Инструменты в широком смысле представляют собой орудия, употребляемые при ручной и механической обработке разного рода материалов в машиностроении, горном деле, в деревообрабатывающей промышленности, сельском хозяйстве, в медицине, в домашнем обиходе и т. п. Режущим инструментом в узком смысле называется та часть металлорежущих станков, которая непосредственно изменяет форму обрабатываемой детали, например, сверло для сверлильного станка, резец для токарного станка, фреза для фрезерного станка.

В народном хозяйстве инструменты играют огромную роль и ни одна его отрасль не может обойтись без использования инструментов в широкой их номенклатуре.

Инструменты появились еще на самой ранней ступени развития человеческого общества, когда первобытный человек уже не мог удовлетворяться работой только одних своих органов и в помощь им начал создавать первые орудия из камня, кости, дерева и других материалов.

В древние исторические времена можно наблюдать уже значительное использование инструментов. Большое влияние на развитие инструментов оказал металл (сначала бронза, а затем железо), из которого стали их изготавливать. В средние века по мере развития ремесленного производства номенклатура инструмента расширяется, формы его также изменяются. Однако инструмент по-прежнему предназначается в основном для ручной обработки.

Мануфактурный период характерен разделением труда, что позволило поднять его производительность. Дифференцирование производства потребовало введения большого разнообразия для одних и тех же типов инструментов. Каждый тип инструмента принимает такую форму, которая наиболее всего подходит для выполнения одной или нескольких определенных операций. Однако и в этот период инструменты использовались в основном как ручные.

Огромную роль в развитии инструмента сыграло появление машин, которое значительно расширило область применения инструмента, появились новые типы его, изменились и требования, предъявляемые к нему. К. Маркс в своем труде «Капитал», анализируя роль и значение инструмента, говорит: «Всякая развитая совокупность машин состоит из трех существенно различных частей: машины-двигателя, передаточного механизма, наконец, машины-орудия, или

рабочей машины. . . Обе эти части механизма существуют только затем, чтобы привести в движение рабочую машину, благодаря чему последняя захватывает предмет труда и целесообразно изменяет его. Промышленная революция в XVIII веке исходит как раз от этой части машин — от рабочей машины. И теперь каждый раз, когда ремесленное или мануфактурное производство превращается в машинное, исходным пунктом служит рабочая машина»¹.

По мере расширения использования машин назрела необходимость наладить их изготовление механическим путем, так как ручная обработка уже не могла удовлетворить возросшим требованиям в отношении точности, производительности и удешевления этих средств производства. Большую роль начинают играть специальные машины-станки, предназначенные для обработки деталей машин. Благодаря им, как указывает К. Маркс, «. . .удалось производить геометрические формы отдельных частей машин с такой степенью легкости, точности и быстроты, которой никакая опытность не могла бы доставить руке искуснейшего рабочего».

«. . . Как бы прост и на первый взгляд незначителен ни казался этот придаток к станку, мы думаем, что без преувеличения можно сказать, что его влияние на усовершенствование и распространение машин было так же велико, как влияние усовершенствований, произведенных Уаттом в самой паровой машине. Введение его разом повело к усовершенствованию и удешевлению всяких машин и дало толчок новым изобретениям и усовершенствованиям»².

Этот глубокий анализ, сделанный К. Марксом еще на заре развития машинной техники (1855 г.), оказался гениальным прогнозом, оправдавшим себя на всем дальнейшем развитии машинной техники.

Практика показывает, какое огромное революционизирующее значение имеет инструмент для современного машиностроения. Теперь уже никто не пытается рассматривать инструмент как некий механический придаток к станку. Напротив, на ряде примеров можно показать, как усовершенствование инструмента, изобретение новых его видов неизменно влекут за собой новые конструкции станков. В качестве примера можно отметить развитие инструментов и станков для обработки зубчатых колес. Изобретение новых инструментов, как-то: червячной фрезы, долбяка, гребенки, зубодолбежной головки, обкаточного резца, шевера, резцовой головки для кругового зацепления, фрезы-протяжки для конических прямозубых колес и других, послужило причиной появления целой серии специальных зуборезных станков. Следует также указать на огромное влияние, которое оказывают на конструкцию станков инструменты, выполненные из материалов с более высокими режущими свойствами (сначала быстрорежущая сталь, затем твердые сплавы и в настоящее время

¹ К. Маркс. Капитал, т. I, 1952, стр. 378—379.

² К. Маркс. Капитал, т. I, 1952, стр. 391.

минералокерамика). И таких примеров, подтверждающих революционизирующую роль инструмента, можно привести большое количество. Однако из этого не следует, что инструмент развивается сам по себе без влияния на него со стороны станка или метода обработки. В некоторых случаях производственные возможности станка не могут быть полностью использованы из-за несовершенства конструкции инструмента. Во всяком случае, нельзя забывать, что три фактора — станок, инструмент, технологический процесс — составляют неразрывное целое и только при правильном их разрешении возможен успех механической обработки.

Значение инструмента этим не ограничивается. В каждом производстве он предопределяет технологический процесс, выбор оборудования и даже самую форму обрабатываемой детали, например при проектировании новых видов производства.

Никакая рационализация технологического процесса немыслима без участия инструмента. Использование более совершенного по конструкции инструмента кардинальным образом изменяет в сторону улучшения технологический процесс с одновременным повышением производительности труда и качества выпускаемой продукции.

Расходы на инструмент, приходящиеся на единицу продукции, довольно значительны. Наряду с этим инструмент несоответствующего качества вызывает повышение простоев станка из-за частых смен инструмента для переточки, а также и увеличение брака деталей. Необходимо отметить, что эти косвенные расходы (обычно не учитываемые) могут при плохом качестве инструмента или нераціональном его использовании во много раз превысить прямые расходы.

Инструментальное производство тесно связано с развитием машиностроения и металлообрабатывающей промышленности. Успешное развитие каждого производства в значительной степени зависит от того, насколько оно обеспечено надлежащим количеством инструмента (режущего и мерительного), приспособлений, штампов и т. п. Это является основной базой для правильной постановки производства. Индустриализация страны немыслима без существования своего собственного инструментального производства. И не даром в странах с широко развитым машиностроением мы находим и наиболее развитую инструментальную промышленность.

Инструментальное производство в СССР развивается по двум направлениям:

1) организация специальных инструментальных заводов, поставляющих на рынок нормализованный инструмент;

2) организация внутризаводского производства, сосредоточенного в собственных инструментальных цехах машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий. В этих цехах изготавливается специальный инструмент, приспособления и штампы.

В странах с широко развитой инструментальной промышленностью внутризаводское производство инструмента встречается в не-

больших размерах, так как предприятию всегда выгоднее приобрести инструмент на стороне, чем изготовлять его у себя. Специализированные инструментальные заводы выпускают более дешевый и лучший по качеству инструмент по сравнению с тем, что дает внутризаводское производство. Это обстоятельство заставляет обращать особенное внимание на развитие инструментальной промышленности.

В СССР каждое металлообрабатывающее предприятие обладает солидной инструментальной базой, которая, помимо режущего инструмента, изготовляет также и всю необходимую для данного завода инструментальную и технологическую оснастку. По количеству станков и занятых рабочих производство инструмента в инструментальных цехах в несколько раз выше выпуска продукции специализированной инструментальной промышленности. Такое преобладание вызвано историческими обстоятельствами. В восстановительный период после гражданской войны инструментальная промышленность находилась в зародышевом состоянии и, конечно, не могла обслужить машиностроение. Поэтому требовалось или ввозить инструмент из-за границы или создавать на каждом предприятии наряду с производственными цехами также и инструментальный цех. Само собой разумеется, что наши заводы выбрали второй путь, как освобождающий страну от импорта. Для успешного и своевременного ввода в действие производственных цехов всегда необходимо определенное опережение в разработке и изготовлении всей инструментальной и технологической оснастки. Поэтому на вновь строящихся заводах в первую очередь создается инструментальный цех.

В дореволюционной России инструментальной промышленности не существовало. Она, как и станкостроительная промышленность, является детищем Советской власти и получила наибольшее развитие за годы первых пятилеток. До Октябрьской революции производство инструмента стояло в нашей стране на весьма низком уровне как в качественном, так и в количественном отношении. За отсутствием специализированных инструментальных заводов, изготовление рыночного инструмента было сосредоточено в инструментальных цехах некоторых машиностроительных заводов, например Тульского, Путиловского, Ижевского, Сестрорецкого, Златоустовского и др. Номенклатура отечественного режущего инструмента была чрезвычайно ограничена и в основном она охватывала такие «малоквалифицированные» инструменты, как деревообделочный (плотничный, столярный) и слесарно-монтажный. По имеющимся данным весь товарный выпуск режущего инструмента русской промышленностью составлял в 1912 г. 6 млн. руб. (в пересчете на стабильные цены 1926—1927 гг.). 90% всего потребляемого инструмента ввозилось в Россию из-за границы.

Первенцем среди специализированных инструментальных заводов является Московский инструментальный завод (МИЗ), организован-

ный в 1919 г. Этот завод сыграл значительную роль в освоении номенклатуры инструмента. Он явился инициатором в деле использования принципов массового его производства. Внедрив дифференцированные методы производства и используя универсальные станки, оснащенные приспособлениями, завод добился эффективных результатов без применения при этом рабочей силы высокой квалификации. Эти методы, хорошо проверенные практикой МИЗа, впоследствии были широко использованы как при организации новых заводов, так и при реконструкции действующих предприятий. На долю МИЗа выпала почетная роль кузницы по выковыванию высококвалифицированных кадров инструментальщиков.

В период восстановления народного хозяйства специализированными заводами, наряду с МИЗ, были также: завод им. Воскова в Сестрорецке, завод-комбинат им. Ленина в Златоусте и два напильных завода — в Миассе и Луганске.

В конце первой пятилетки в Москве был построен новый мощный инструментальный завод по производству режущих инструментов «Фрезер» им. М. И. Калинина.

Организация завода «Фрезер» заставила пересмотреть номенклатуру производства МИЗ и наметить его дальнейшую специализацию. Во избежание дублирования производство всех видов нормализованного инструмента было снято с завода МИЗ и передано заводу «Фрезер» и заводу им. Воскова. Взамен этого завод МИЗ начинает выпускать протяжки, зуборезный инструмент и различных сложный инструмент нестандартных типов.

За годы пятилеток выросло не только количество инструментальных заводов, но и продукция их как по номенклатуре, так и в ценностном выражении. Выпуск валовой продукции вырос за 12 лет (1928 г. по 1940 г.) более чем в 6 раз.

В годы Великой Отечественной войны в трудных производственных и бытовых условиях (в помещениях, мало приспособленных для развертывания производства инструмента) был создан ряд крупных инструментальных заводов. К началу второй послевоенной пятилетки инструментальная промышленность располагала уже 20-ю производственными единицами, из них 14 — по режущему инструменту, включая и напильники.

За годы своего существования инструментальная промышленность проделала огромную работу по освоению квалифицированных прецизионных и высокопроизводительных инструментов. Специализированные инструментальные заводы освоили весь нормализованный режущий инструмент (сверла, метчики, плашки, резцы, развертки, фрезы, напильники), широкий ассортимент нестандартного и сложного инструмента (протяжки, зуборезные долбяки, шеверы, гребенки, зуборезные резцы и гребенки, резцовые головки для конических колес, червячные фрезы, обкаточные фрезы различных конструкций, сборные конструкции инструментов с вставными

зубьями (фрезы, развертки, зенкеры), сложные резьбонарезные головки для наружной и внутренней резьбы различных деталей с плоскими и круглыми плашками, муфтонарезные и трубонарезные патроны для нефтяной промышленности, резьбонакатные головки и др.

Можно с уверенностью сказать, что нет такого инструмента, как бы сложен он ни был, который не выполняла бы наша инструментальная промышленность.

Инструментальная промышленность за годы Советской власти выросла в мощную отрасль промышленности, которая является одной из важных в народном хозяйстве страны.

Инструментальное производство в Советском Союзе, благодаря плановому хозяйству, основанному на социалистических началах, находится в более благоприятных условиях, чем в капиталистических странах. Там ввиду разбросанности производства по большому количеству мелких фирм не удастся поставить изготовление инструмента в массовом количестве. Поэтому подавляющее большинство этих заводов изготавливает инструмент на универсальном оборудовании, во многих случаях даже без всяких приспособлений.

В Советском Союзе производство режущего инструмента сосредоточено на небольшом количестве предприятий. Это позволяет использовать при изготовлении инструментов как прогрессивные технологические процессы (получение заготовок путем пластических деформаций, рубки, отливки, сварки, напайки и т. п., внедрение на механических и термических операциях автоматов и полуавтоматов например для сварки, напайки, очистки, закалки, отпуска, токарных, фрезерных, шлифовальных операций и т. п.), так и передовые методы организации (специализация и концентрация производства, внедрение принципов поточно-массового производства с постепенным переходом на использование автоматических линий и др.). Особое значение имеют вопросы комплексной автоматизации и механизации трудоемких работ. Для повышения качества инструмента и стабильности режущих свойств особое значение приобретает автоматизация заточных операций, которая требует создания специальных автоматических станков. Контрольные операции, выполняемые в большинстве случаев вручную и визуальным путем, требующие наличия большого штата контролеров, подлежат замене автоматическими приборами. Внедрение этих мероприятий приведет к увеличению выпуска продукции, улучшению ее качества и стабильности, повышению производительности труда и снижению себестоимости инструмента.

С целью увеличения выпуска нормализованного инструмента совнархозы должны организовать в основном для снабжения своих районов изготовление типовых инструментов, например резцов и других, с учетом специфических особенностей для каждого района.

Широкая организация автоматических линий в машиностроении требует создания высокопроизводительных инструментов, обладающих высокой размерной стойкостью.

Организация массового производства инструмента может быть успешно проведена только при широкой его стандартизации и нормализации. В СССР все инструменты универсального назначения стандартизованы. Общесоюзные стандарты даны не только на габаритные элементы, но также и на технические условия для приемки их потребителем. Необходимо отметить, что в зарубежной практике не принято стандартизировать условия на приемку. Они оговариваются при заказе на изготовление инструмента. Стандарты являются юридическим документом, регламентирующим размеры и качество инструментов. Они являются обязательными для всех предприятий СССР.

В СССР обращено серьезное внимание на подготовку инженеров для инструментального производства и на развитие научно-исследовательской работы в области резания металлов, расчета и конструирования режущих инструментов и технологии их изготовления. В 1930 г. создан Московский станкоинструментальный институт (Мосстанкин), в задачи которого в первую очередь входит выпуск инженеров, специализирующихся в области станкостроения и инструментального производства. В 1944 г. организован Всесоюзный научно-исследовательский инструментальный институт (ВНИИ), являющийся центром по исследованию вопросов, стоящих перед инструментальной промышленностью. Помимо ВНИИ, научно-исследовательской работой занимаются также и отделы по инструменту различных отраслевых институтов.

Ближайшими задачами по дальнейшему развитию инструментальной промышленности являются следующие:

- 1) полное удовлетворение всего народного хозяйства нормализованными режущими инструментами и прекращение изготовления их в инструментальных цехах металлообрабатывающих предприятий;

- 2) резкое повышение качества нормализованных режущих инструментов в отношении точности, стойкости, производительности, чистоты отделки и т. п.;

- 3) изготовление прецизионных режущих инструментов с широким использованием их классности;

- 4) установление критерия оценки качества режущих инструментов и в особенности их точности и режущей способности;

- 5) регламентирование количества станков инструментальных цехов при проектировании новых металлообрабатывающих заводов не более 8—10% от всего заводского парка станков;

- 6) увеличение выпуска как универсальных, так и специальных станков и приспособлений к ним для заточки режущих инструментов.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Инструмент как фактор кинематики процесса резания. Обработка деталей резанием заключается в удалении с заготовки определенного количества материала с целью получения требуемой формы детали с предписанными по техническим условиям точностью размеров и качеством обработанных поверхностей. Два последних условия зависят от многих технологических факторов: точности станка и инструмента, правильности и надежности крепления заготовки и инструмента, остроты его режущих кромок, вибраций станка и др., а также от квалификации рабочего и т. п. Получение же геометрической формы детали, т. е. образование ее поверхностей, является геометрически-кинематическим фактором процесса обработки резанием. По аналогии с теоретической механикой этот фактор необходимо рассматривать вне связи с физическими и механическими явлениями, имеющими место в процессе обработки резанием. В частности, в процессе обработки геометрические элементы инструмента не остаются постоянными, а непрерывно меняются вследствие трения и износа режущих кромок. Однако при рассмотрении геометрических и кинематических элементов инструмента принимается как остро заточенный и не теряющий своей формы во время определенного периода времени.

Следовательно, кинематика процесса обработки резанием рассматривает вопросы о взаимном положении и относительном движении инструмента и заготовки, осуществляемых в процессе резания и образования поверхностей детали.

Таким образом, форма детали обусловлена, с одной стороны, геометрией режущего инструмента, а с другой — относительным движением двух твердых тел — инструмента и заготовки, предусмотренным кинематической схемой станка. Геометрическая форма заготовки не оказывает влияния на образование формы детали. Она определяет лишь количество стружки, удаляемой в процессе обработки резанием.

В обработке металлов резанием основную роль играет инструмент. При изучении конструкций режущего инструмента приходится иметь дело с его геометрией. Под последней разумеется совокупность вопросов, трактующих о форме режущего инструмента как геометрического тела. Надо различать геометрические элементы инстру-

мента, связанные исключительно с его конфигурацией и не изменяющиеся при перемещении или движении, и кинематические элементы, определяющие взаимное положение и относительное движение инструмента и обрабатываемой заготовки, т. е. элементы, имеющие место в состоянии движения.

Геометрические параметры режущей части инструмента следующие: задний угол α , передний угол γ , главный угол в плане φ , вспомогательный угол в плане φ_1 , угол наклона режущей кромки λ , радиус закругления r .

Составные части и элементы инструментов. В практике встречаются разнообразные виды режущих инструментов. Несмотря на индивидуальные и специфические особенности, режущие инструменты имеют большое количество общих геометрических и конструктивных элементов. Единство геометрии режущих инструментов обусловлено в основном единством законов резания металлов. Выделение общих геометрических и конструктивных элементов для каждого режущего инструмента, анализ их с учетом законов резания позволяет при проектировании правильно выбрать их величины и тем самым обеспечить требования, предъявляемые к режущему инструменту.

Каждый режущий инструмент обладает двумя функциями:

- 1) срезанием излишнего металла с заготовки, предписанного припуском на обработку;
- 2) оформлении обрабатываемой поверхности, т. е. соблюдение правильной формы, точности размеров и качества поверхности.

Таким образом, инструмент состоит как бы из двух отдельных частей: одна для предварительной обработки, другая — для окончательной, т. е. калибрования.

В соответствии с этим, основными частями режущего инструмента являются: 1) режущая и 2) калибрующая. У одних инструментов эти части ярко выражены, например у всех инструментов для обработки отверстий или резьбы (за исключением резьбовых фрез). У других же калибрующая часть почти незаметна, например вершина и вспомогательная режущая кромка резцов. У некоторых инструментов, например напильников или зубообрабатывающих инструментов, режущая и калибрующая части представляют одно целое. С точки зрения условий резания такие инструменты менее совершенны, так как они могут работать или только как черновые, или как чистовые. Требуемый характер обработки обеспечивается или изменениями в конструкции инструмента, или соответствующим выбором режимов резания.

Каждая составная часть обычно включает ряд конструктивных элементов, предназначенных для выполнения одной или нескольких определенных функций в процессе обработки резанием.

К основным конструктивным элементам инструмента относятся:

- а) зубья, несущие на себе режущие элементы;

- б) канавки, предназначенные для помещения и отвода стружки;
- в) стружколоматели и стружкозавиватели, предназначенные для облегчения отвода стружки;
- г) каналы для охлаждения, подводящие смазочно-охлаждающую жидкость к режущим элементам;
- д) элементы крепления инструмента и элементы баз при изготовлении, контроле и переточках инструмента.

Геометрическая форма инструмента образуется непосредственно геометрическими элементами, не изменяющимися при перемещении инструмента. Некоторые конструктивные элементы, например зубья инструмента, представляют собой совокупность геометрических элементов.

Каждый режущий инструмент независимо от вида и размера включает в себе почти все перечисленные геометрические элементы. Основную роль в процессе резания играет клин с режущими кромками. Он образован двумя важными поверхностями: передней, по которой сходит стружка, и задней, обращенной в процессе резания к обрабатываемой поверхности. Из поверхностей, применяемых для оформления режущих инструментов, основными являются:

- а) плоскости;
- б) поверхности вращения;
- в) винтовые поверхности.

Плоскости предназначаются для оформления стержневых резцов, зуборезных гребенок, зуборезных резцов для конических прямозубых колес.

Поверхности вращения встречаются в трех основных видах:

- а) с образующей в виде прямой, параллельной оси вращения (цилиндрические фрезы, развертки);
- б) с образующей в виде прямой, наклонной под некоторым углом к оси вращения (угловые фрезы, конические развертки);
- в) с криволинейной образующей (фасонные фрезы, фасонные резцы).

Винтовые поверхности занимают одно из важных мест в конструировании режущего инструмента. Для многих инструментов винтовая поверхность использована в качестве основы для образования профиля (например, резьбонарезные инструменты, червячные зуборезные фрезы).

В некоторых случаях винтовая поверхность предназначена для получения более благоприятного переднего угла и сохранения неизменной режущей части после переточек, например спиральные сверла. Расположение зубьев по винтовой линии увеличивает равномерность резания благодаря постепенному входу и выходу их в обрабатываемую поверхность, способствует лучшему образованию и отводу стружки (например, фрезы с винтовыми зубьями, зенкеры). Расположение профиля по винтовой линии, как например, у фасонных круглых резцов, дает возможность получить задний угол на