

Ивановский государственный энергетический университет
Кафедра "Технологии автоматизированного машиностроения"

Электронный конспект лекций

по теме:

«Резание металлов»

Автор: **Подгорков Владимир Викторович**,
д.т.н., проф. кафедры ТАМ

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение является важнейшей отраслью промышленности, производящей различные машины, станки, приборы и металлические предметы культурно-бытового назначения. Уровень развития машиностроения в решающей степени определяет состояние всех других отраслей промышленности, определяет производительность труда в производстве совокупного продукта и, в конечном итоге, уровень жизни людей.

Как самостоятельная отрасль производства машиностроение сложилось в XVIII веке. Быстрое развитие оно получило в Англии и странах Западной Европы, затем в США. В России первые машиностроительные заводы построены в конце XVIII века, в середине XIX века их насчитывалось около 100, а в 1900 году – более полутора тысяч. По своему техническому уровню и масштабам производства машиностроение России существенно отставало от западноевропейских стран, половину необходимого оборудования для различных отраслей производства приходилось ввозить из-за границы.

Бурное развитие машиностроения в нашей стране произошло после Великой Октябрьской социалистической революции. В годы первой пятилетки согласно директивам 15-го съезда ВКП(б) в период с 1928 по 1933 гг. в Советском Союзе построено около тысячи новых крупных заводов, в том числе такие гиганты, как "Уралмаш", Горьковский автозавод, Ново-Краматорский завод тяжелого станкостроения, Челябинский, Харьковский и Сталинградский тракторные заводы и другие машиностроительные предприятия. В связи с развитием отечественного машиностроения для более эффективного использования его возможностей потребовались научно обоснованные руководящие материалы и нормы по рациональному использованию имеющихся мощностей, выбору оптимальных условий и режимов обработки. Для удовлетворения этих потребностей впервые в мировой практике машиностроения были составлены и в предвоенные годы изданы массовым тиражом «Единые нормативы» по оптимальной механической обработке всех используемых в то время конструкционных материалов для всех видов работ и всех используемых режущих инструментов.

В начале Великой Отечественной Войны большое число машиностроительных предприятий было эвакуировано в глубь страны и в фантастически жатые сроки перепрофилировано на выпуск военной техники, оружия и боеприпасов. В этих условиях взамен ушедших на фронт мужчин, профессиональных специалистов- станочников, к станкам встали вчерашние колхозники, женщины, школьники и другие, далекие от машиностроения люди. Вот здесь-то «Единые нормативы» сыграли неоценимую роль в деле обучения этих людей и передаче им знаний по оптимальным режимам механической обработки деталей на металлорежущих станках. К началу Великой Отечественной войны наша страна уже обладала мощным машиностроением, способным обеспечить Советскую Армию военной техникой. Советские ученые-специалисты по резанию металлов внесли свой достойный вклад как в дело развития отечественного машиностроения, так и в Победу в Великой Отечественной Войне.

В послевоенные годы машиностроение восстанавливалось и развивалось быстрее, чем остальные отрасли народного хозяйства. Так, к концу сороковых и началу пятидесятих годов объем промышленной продукции по сравнению с предреволюционным периодом увеличился в 35...40 раз, а объем продукции машиностроения – в 240 раз. Такое положение обеспечило быстрое восстановление всего народного хозяйства страны. В послевоенное время интенсивно развивалось машиностроение и в нашей Ивановской области. В Иванове в начале 50-х годов построены новые заводы: испытательных приборов, автомобильных кранов, чесальных машин, расточных станков. В Кохме – строительных машин, в Кинешме – филиал автомобильного завода имени Ленинского комсомола, в Фурманове – завод вакуумной техники "Темп", в Комсомольске – завод электроаппаратов.

Свидетельством колоссальных достижений машиностроения Советского Союза является создание оборудования для атомных электростанций, крупнейших в мире установок для изучения атомного ядра, атомных подводных лодок и ледоколов, уникальной реактивной авиационной техники, космических ракет, искусственных спутников земли и долговременных орбитальных станций, строительство таких гигантов машиностроения, как Атоммаш, АвтоВАЗ, КАМАЗ и других промышленных предприятий.

Современное машиностроение характеризуется широким применением металлорежущих станков с числовым программным управлением и автоматизированных технологических комплексов, работающих по принципу "безлюдной технологии". Для изготовления режущих инструментов используются новые сверхтвердые композиционные материалы, синтетические и природные алмазы. Производственный потенциал отечественного машиностроения за годы Советской власти сильно возрос и был очень велик, однако в настоящее время в связи с переустройством страны он используется чрезвычайно мало.

Содержание лекций по дисциплине «Резание металлов».

Учебная дисциплина «Резание металлов» является первой дисциплиной технологического цикла, формирующей у студентов основы знаний по механической обработке металлов, она является отправным пунктом в изучении таких учебных дисциплин, как «Режущие инструменты», «Оборудование машино-

строительного производства» и «Технология машиностроения» ; знания по «Резанию металлов» необходимы для осознанного восприятия и оценки всех сопровождающих процесс резания явлений и их влияния на эффективность механической обработки.

В первой части дисциплины рассматриваются физические основы резания металлов, во второй части - основные виды механической обработки металлов.

Согласно программе настоящий цикл лекций рассчитан на преподавание дисциплины «Резание металлов» в объеме 36 часов лекций, 14-ти часов лабораторных занятий и самостоятельную работу с литературой не менее 12 часов.

Список использованной и рекомендуемой литературы

1. Панченко К.П. Русские ученые-основоположники науки о резании металлов. - М.: Машгиз, 1953.
2. Развитие науки о резании металлов. Коллектив авторов. - М. : Машиностроение, 1967. 416с.,ил.
3. Армарего И.Дж. А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. Пер. с англ. В.А.Пастунова - М.: Машиностроение, 1977. 325с. с ил.
4. Клушин М.И. Резание металлов.- М.: Машгиз, 1953. 431с., ил.
5. Клушин М.И. Резание металлов. Элементы теории пластического деформирования срезаемого слоя. - М.: Машгиз, 1958. 454с. ил.
6. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304с., ил.
7. Подгорков В.В. Теория резания: Учебн. пособие/ Иван. Гос. ун-т, - Иваново: ИвГУ. 1986. 80с., ил.
8. Подгорков В.В. Блинов В.Б., Капустин А.С., Механическая обработка материалов и оборудование машиностроительного производства: Учебн. пособие: Под. ред. Подгоркова В.В. / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002. 124с., ил.
9. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение. 1975. – 344с., ил.
10. Лоладзе Т.Н. Износ режущего инструмента. – М.: Машгиз. 1958. – 356с., ил.
11. Научно-технические основы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов // Сборник статей под ред. Клушина М.И. – Иваново: Ив. ТИ. 1968.- 172с., ил.
12. Худобин Л.В., Бердичевский Е.Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке. – М.: Машиностроение, 1977. -189с.
13. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. Энтелиса С.Г. и Берлинера Э.М. – М.: Машиностроение 1986. – 352с., ил.
14. Магнитные жидкости в машиностроении // Орлов Д.В., Михал'в Ю.О., Мышкин Н.К., Подгорков В.В., Сизов А.П. / Под ред. Орлова Д.В. и Подгоркова В.В. – М.: Машиностроение. 1993. – 272с., ил.

15. Справочник по триботехнике: В 3т. Т.2: Смазочные материалы... / Под общ. ред. М.Хебды и А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение. 1990. – 416с., ил.
16. Аваков А.А. Физические основы теорий стойкости режущих инструментов. – М.: Машгиз, 1960. – 124с., ил.
17. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматгиз, 1963. – 472с., ил.
18. Берковский Б.М., Медведев В. Ф., Краков М.С. Магнитные жидкости. М.: Химия, 1989. – 240с.
19. Блум Э.Я., Майоров М.М., Цеберс А.О. Магнитные жидкости. – Рига: Зинатне, 1989. – 386с., с ил.
20. Боуден Ф.П. и Тэйбор Д. Трение и смазка. – М.: Машгиз, 1960.
21. Горкунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. -М.: " Издательство МСХА ", 2001, –601с., ил.
22. Грановский Г.И., Грудов П.П., Кривоухов В.А., Ларин М.Н., Малкин И.П. Резание металлов. – М.: Машгиз, 1953. – 364с., ил.
23. Дерягин Б.В. Что такое трение. – М.: АН СССР, 1963.
24. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях: Справочник. – М.: Машиностроение, 1986. – 224с., ил.
25. Крагельский И.В., Любарский И.М., Гусяков А.А. и др. Трение и износ в вакууме. – М.: Машиностроение, 1973. 216 с., ил.
26. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОЖ. – М.: Машиностроение, 1985. – 64с., ил.
27. Шпеньков Г. П. Физикохимия трения. Минск: изд-во БГУ, 1991. – 395с., ил.

Лекция 1.

Вклад отечественных ученых в развитие науки о резании металлов

Первые экспериментальные исследования процесса резания металлов проведены во Франции. В 1848—1849 годах капитан французской артиллерии Кокилья проделал опыты по сверлению отверстий в орудийных стволах. Подача сверла осуществлялась с помощью груза. В опытах определялась работа, затрачиваемая на сверление.

В 1851 году Коквилхэт исследовал работу, необходимую для сверления отверстий в железе, бронзе, камне и других материалах. В 1862 году опыты Кокилья повторил капитан французской артиллерии Кларинваль на отличающихся по своим свойствам обрабатываемых материалах: чугуна, стали и бронзе. В 1864 году французский исследователь Джоссель сделал сообщение о влиянии геометрии резца на силу резания.

В конце 70-х годов 19-ого века интенсивно развиваются науки о строении и свойствах металлов. Так, в 1968 году Д.К.Чернов исследует строение металлов и

закладывает основы металлургии, в том же году французский академик Треска публикует первые работы по пластической деформации металлов.

В 1780 году наш соотечественник Иван Августович Тиме(1838-1920), профессор Петербургского Горного Института, публикует труд «Сопротивление металлов и дерева резанию», в котором он «... впервые рассмотрел процесс деформации металла при стружкообразовании». Этот труд и считается началом науки о резании металлов, а его автор, Иван Августович Тиме — её основоположником.

В 1893 году вышла в свет книга профессора Харьковского Технологического Института Константина Алексеевича Зворыкина(1861-1928) «Работа и усилие, необходимые для отделения металлических стружек». Эта работа явилась ценным вкладом в мировую техническую литературу и поставила К.А.Зворыкина в ряд крупнейших ученых- основоположников науки о резании металлов. За своё исследование, описанное в этой книге, К.А.Зворыкин был удостоен премии Русского технического общества. В своём исследовании для измерения усилий он впервые применил гидравлический динамометр. Методика изложенного исследования была настолько совершенна и тщательно продумана, что от современных исследований она отличается только технической оснащённостью. К.А.Зворыкиным была предложена схема сил, действующих на резец, в которой были учтены силы трения на передней и задней поверхностях. К.А.Зворыкин теоретически определил положение плоскости скалывания и высказал предположение, что в плоскости скалывания действуют нормальные силы, вызывающие силы трения между элементами стружки, препятствующие их движению. Значительная часть работы посвящена исследованию зависимости сил резания от толщины стружки.

В 1896 году опубликована работа преподавателя Михайловской артиллерийской академии, капитана А.А. Брикса «Резание металлов». В своей книге автор дал глубокий анализ работ отечественных и зарубежных исследователей, систематизировал понятия и уточнил терминологию, принятую в резании. Такие термины, как «режущее лезвие», «передняя грань», «задняя грань», «угол заострения», «задний угол», «передний угол» утвердились в науке о резании металлов и сохранились до наших дней.

В 1905-1910 годах – Н.Н. Савиным выполнены исследования влияния смазочно-охлаждающей жидкости на процесс резания и качество обработанной поверхности. Результаты исследования опубликованы в «Известиях СПб Политехнического института» и в «Вестнике общества технологов» в 1910 году.

В 1914 году в «Известиях Донского политехнического института» была опубликована работа Б.Г. Соколова «О форме обдирочных резцов». В этой работе автор обращает внимание на то, что процесс образования стружки следует рассматривать в плоскости «схода стружки», которую в настоящее время мы называем главной секущей плоскостью.

Выдающейся работой после работ И.А. Тиме и К.А. Зворыкина была работа мастера механических мастерских Петроградского политехнического института Якова Григорьевича Усачева (1873-1941) «Явления, происходящие при резании металлов». Для изучения пластической деформации в зоне образования стружки Я.Г. Усачев впервые применил микроструктурный анализ корней стружек, по-

зволивший увидеть плоскости скалывания и плоскости сдвигов внутри элементов стружки. При микроструктурном анализе корней стружек Я.Г. Усачев обратил внимание на явление образования нароста на передней поверхности резца, которое он охарактеризовал как явление приспособляемости металла к условиям резания и указал, что «...нарост образуется всегда, если форма резца не соответствует условиям наименьшего сопротивления резанию...».

Я.Г. Усачев был выдающимся экспериментатором и большим мастером своего дела, опубликованные им фотографии микроструктур корней стружек и нароста, удивляют исключительно высоким качеством их выполнения, собственноручно им изготовленные и применяемые в экспериментах резцы со встроенными полуискусственными термопарами, являют собой образцы ювелирного их исполнения.

Начало работам советского послереволюционного периода времени было положено Андреем Николаевичем Челюсткиным (1891-1926), преподавателем Ленинградской артиллерийской академии. За 7 лет своей научно-педагогической работы он опубликовал целый ряд сочинений, сыгравших большую роль в развитии отечественной науки о резании металлов.

Особое место среди его работ занимает сочинение «Влияние размеров стружки на усилие резания металлов».

В годы первой пятилетки 1928-1933 в нашей стране развернулось широкое строительство новых предприятий тяжелой индустрии и реконструкция существующих машиностроительных заводов. В этот период строятся такие гиганты нашей индустрии, как Горьковский Автозавод, Сталинградский, Харьковский и Челябинский тракторные заводы, авиационные заводы в Москве, Воронеже и в Горьком, Уралмаш, Ново-Краматорский завод тяжелого машиностроения и другие.

Резкое расширение парка металлорежущих станков и увеличение объема металлообработки потребовало создания научно-обоснованных руководящих материалов по рациональному использованию имеющихся мощностей, выбору оптимальных режимов резания и условий обработки.

Развитие массового производства требовало освоения высокопроизводительных методов обработки металлов с применением специализированных инструментов.

Эти задачи в целом потребовали расширения научно-исследовательских работ в металлообработке. Поэтому в 1936 году по инициативе Наркома тяжелой промышленности СССР Григория Константиновича Орджоникидзе была создана «Комиссия по резанию металлов» под председательством профессора МВТУ имени Н.Э.Баумана, Е.П. Надеинской. Членами комиссии стали А.И. Каширин, В.А. Кривоухов, И.М. Беспрозванный и С.Д. Тишин. На основании работ, выполненных под руководством комиссии, впервые в мировой практике металлообработки разработаны справочные материалы по режимам резания всех применявшихся в то время конструкционных материалов и всех видов обработки всеми видами инструмента.

Эти материалы были положены в основу государственных нормативов по режимам резания.

В результате работ Комиссии были прочно заложены основы Советской школы резания металлов. Впервые в мировой практике созданы нормативно-справочные материалы по резанию металлов.

В период Великой Отечественной Войны проведены широкие исследования, направленные на определение режимов резания максимальной производительности.

Послевоенный период характеризуется глубокими исследованиями накопившихся за время войны узких вопросов по теории резания металлов.

Результаты исследований опубликованы авторами:

1945 г. — В.А. Кривоуховым «Деформирование поверхностных слоев металла в процессе резания».

1946 г. — И.М. Беспрозванным «Физические основы теории резания металлов».

1949 г. — С.Ф. Глебовым «Механизм пластической деформации при резании металлов».

1950 г. — А.И. Исаевым «Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием».

1953 и 1958 г. — опубликованы две монографии М.И. Клушина «Резание металлов».

По вопросам тепловых явлений и износа режущего инструмента опубликованы работы:

1946 г. — А.М. Даниеляна «Износ инструмента и тепловые явления при резании металлов».

1949 г. — Б.И. Костецкого «Стойкость режущего инструмента».

1949 г. — М.П. Левицкого «Проблема стойкости резцов».

Наряду с теоретическими исследованиями в послевоенный период решаются и новые практические задачи. В этот период осваивается производство новых мощных турбин, атомных реакторов, реактивных двигателей. Детали этих устройств, работающие в условиях действия высоких температур и давлений, изготавливаются из специальных жаропрочных, нержавеющей, эрозионно-стойких и тугоплавких материалов и сплавов, которые трудно поддаются механической обработке. Работы послевоенного периода и были направлены на определение оптимальных условий обработки таких материалов. В 1947 году интенсивно внедряется скоростное резание твердосплавными инструментами.

Современное состояние науки о резании металлов характеризуется глубокими исследованиями физико-химических явлений в зоне резания, исследуются процессы взаимодействия обрабатываемого материала и инструмента, новые инструментальные материалы, исследуется сверхскоростное резание.

Повышение быстроходности и надежности машин потребовало повышения точности обработки и улучшения качества обработанной поверхности. В связи с этим расширились работы по исследованию размерной стойкости инструмента, большое число работ посвящено исследованию внутренних напряжений в поверхностном слое обрабатываемой детали и исследованию влияния различных технологических факторов на усталостную прочность обрабатываемых деталей.

Необходимо отметить, что в настоящее время обнаруживается несоответствие возможностей металлургической промышленности и металлообработки.

Металлургическая промышленность может поставлять нашей промышленности материалы высочайшей прочности, обрабатывать которые обработчики еще не научились и обработка их стоит непомерно дорого. И в этом направлении ведутся исследовательские работы.

Наряду с другими, одной из центральных проблем машиностроения является проблема применения смазочно-охлаждающих технологических сред при резании материалов. Работы в этом направлении ведутся сейчас довольно широко большим числом научно-исследовательских школ и организаций, в том числе в ИГЭУ и в Ивановском Государственном Университете.

Лекция 2. Основы резания металлов

2.1. Основные понятия, термины и определения

При обработке металлов резанием изделие получается в результате срезания с заготовки слоя припуска, который удаляется в виде стружки. Готовая деталь ограничивается вновь образованными обработанными поверхностями. На обрабатываемой заготовке в процессе резания различают обрабатываемую и обработанную поверхности. Кроме того, непосредственно в процессе резания режущей кромкой инструмента образуется и временно существует поверхность резания (рис. 2.1).

Для осуществления процесса резания необходимо и достаточно иметь одно взаимное перемещение детали и инструмента. Однако для обработки поверхности одного взаимного перемещения, как правило, недостаточно. В этом случае бывает необходимо иметь два или более, взаимосвязанных движений обрабатываемой детали и инструмента. Совокупность нескольких движений инструмента и обрабатываемой детали и обеспечивает получение поверхности требуемой формы. При этом движение с наибольшей скоростью называется главным движением (D_r), а все остальные движения называются движениями подачи (D_s). Суммарное движение режущего инструмента относительно заготовки, включающее главное движение и движение подачи, называется результирующим движением резания (D_e). Геометрическая сумма скорости главного движения резания и скорости движения подачи определяет величину скорости результирующего движения резания (V_e). Плоскость, в которой расположены векторы скоростей главного движения резания и движения подачи (рис. 2.1), называется рабочей плоскостью (P_s). В этой плоскости измеряются угол скорости резания φ и угол подачи ψ . Для случаев токарной обработки этот угол равен 90 градусам.

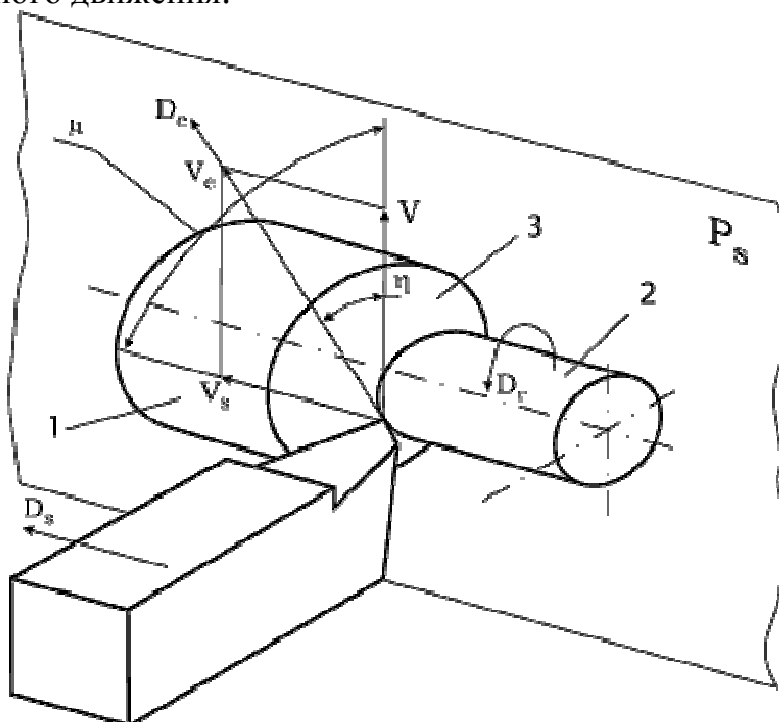
Интенсивность процесса резания определяется напряженностью режима резания. Режим резания характеризуют три параметра:

- глубина резания t (мм);
- подача s (мм/об);
- скорость резания v (мм/мин);

Элементы режима резания: глубина подача и скорость, обозначаются строчными (малыми) буквами латинского алфавита.

Глубиной резания называется толщина слоя обрабатываемого материала, срезаемого за один проход инструмента.

Подачей называется величина перемещения инструмента или обрабатываемого изделия в единицу времени или величина, этого перемещения, отнесенная к величине главного движения.



- 1 – обрабатываемая поверхность,
2 — обработанная поверхность,
3 – поверхность резания.

Рис.2.1 Поверхности и движения при резании.

P_s – рабочая плоскость, V – вектор скорости резания, V_s – вектор скорости движения подачи, V_e – вектор скорости результирующего движения.

D_r – главное движение, D_s – движение подачи, D_e – результирующее движение.

Скоростью резания называется скорость перемещения поверхности резания относительно режущей кромки инструмента. Скорость резания можно представить как путь, пройденный режущим инструментом в единицу времени в направлении главного движения по поверхности резания.

Величина подачи и глубины резания определяют размер площади поперечного сечения срезаемого слоя (сечения среза):

$$f = t \cdot s, \text{ мм}^2.$$

Процесс пластической деформации срезаемого слоя и напряженность процесса резания наиболее полно оценивается не величиной площади поперечного сечения среза, а величинами ширины и толщины поперечного сечения срезаемого слоя (см. рис.2.2). Толщиной срезаемого слоя (среза) a называется расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания. Шириной срезаемого слоя b называется расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания.

Форма поперечного сечения среза зависит от формы режущей кромки инструмента и от расположения ее относительно направления движения подачи. При резании инструментом с прямолинейной режущей кромкой толщина среза a по-

стоянна на всей ширине среза, а при резании инструментом с криволинейной режущей кромкой толщина среза неодинакова в разных точках по ширине среза. Из рис.2.2 видно, что при постоянных значениях подачи s и глубины резания t ширина среза b и толщина среза a изменяются в зависимости от положения режущей кромки, в зависимости от угла φ между режущей кромкой и направлением подачи.

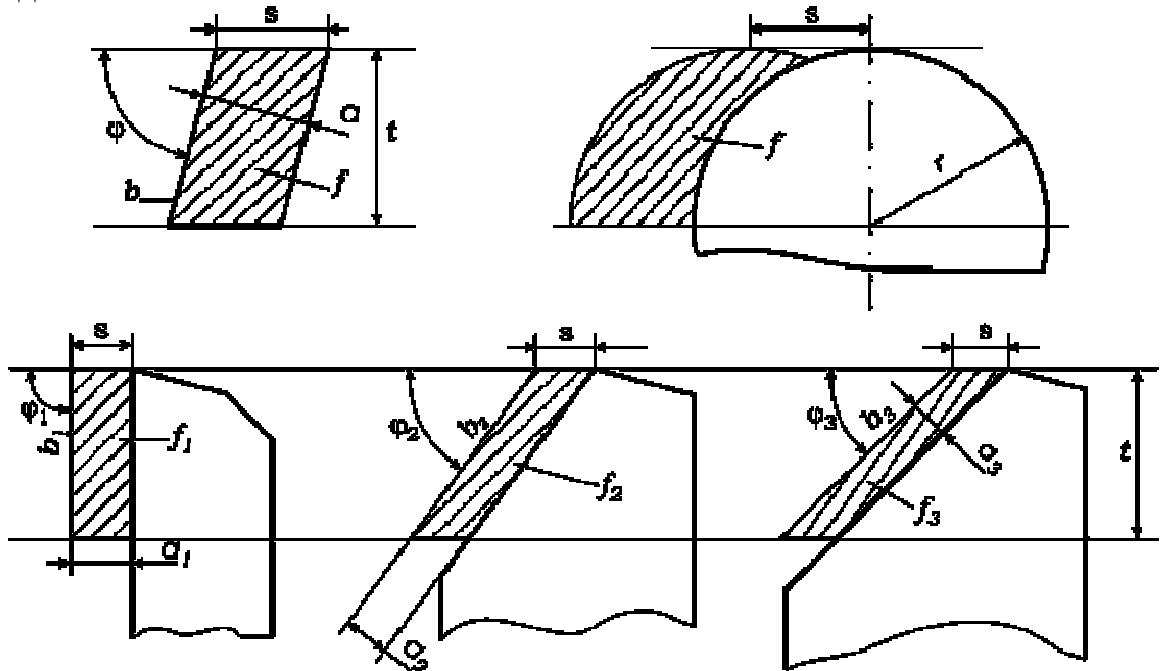


Рис. 2.2. Форма и размеры площади поперечного сечения среза

Здесь видно, что:

$$f_1 = f_2 = f_3 = t. \quad s = a_1. \quad b_1 = a_2. \quad b_2 = a_3. \quad b_3,$$

$$a_1 > a_2 > a_3;$$

$$b_1 < b_2 < b_3;$$

$$a = s \cdot \sin \varphi; \quad b = \frac{t}{\sin \varphi},$$

при

$$\varphi = 90^\circ,$$

поэтому

$$\sin \varphi = 1,$$

$$a = s, \quad b = t.$$

В результате того, что режущий инструмент имеет вспомогательный угол φ_1 не равный нулю, фактическая площадь среза $f_{\text{факт.}}$ меньше номинальной на величину площади среза остающихся на обработанной поверхности гребешков. Величина их Δf несоизмеримо мала по сравнению с номинальной, и для выполнения каких-либо расчетов ею можно пренебречь.

Производительность обработки резанием может характеризоваться объемом металла, срезаемого в единицу времени.

Этот объем, мм³/мин, может быть определен как произведение площади поперечного сечения среза и длины пути, пройденного режущим инструментом в единицу времени – скорости резания:

$$Q = t \cdot s \cdot v \cdot 1000, \text{ мм}^3/\text{мин},$$

где: t – глубина резания, мм;

s – подача, мм/об;

v – скорость резания, м/мин;

Кроме того, производительность механической обработки может оцениваться также величиной площади поверхности, обработанной в единицу времени, или по другим показателям.

2.2. Основные случаи резания

Процесс пластической деформации срезаемого слоя и образования стружки кроме указанных ранее параметров характеризуется еще и степенью осложненности условий, в которых совершается образования стружки. По этому признаку различают два случая резания: свободное и несвободное (осложненное).

1. Свободное резание. Происходит в случае, когда в резании участвует одна прямолинейная режущая кромка. Деформированное состояние срезаемого слоя при этом является плоским. Пример свободного резания указан на рис.3а. В этом случае деформация совершается в плоскостях, параллельных друг другу, и все элементарные объемы срезаемого слоя могут свободно перемещаться в параллельных направлениях.

Свободное резание может осуществляться также при строгании прямых гребешков на плоской поверхности призматической заготовки или при точении с поперечной подачей буртика на цилиндрическом образце (заготовке). Длина прямолинейной режущей кромки инструмента в обоих этих случаях должна быть больше ширины гребешков или буртика на ширину перекрытия режущего лезвия. Свободное резание обычно производится при выполнении каких-либо экспериментов в различных исследованиях. Это делается для того, чтобы исключить влияние осложненного деформирования срезаемого слоя на исследуемое явление. Получить хороший корень стружки для изучения, например, пластической деформации срезаемого слоя или образования нароста, можно только при свободном резании, при котором все явления в зоне резания совершаются в семействе параллельных плоскостей, поэтому одинаковы в каждой из них.

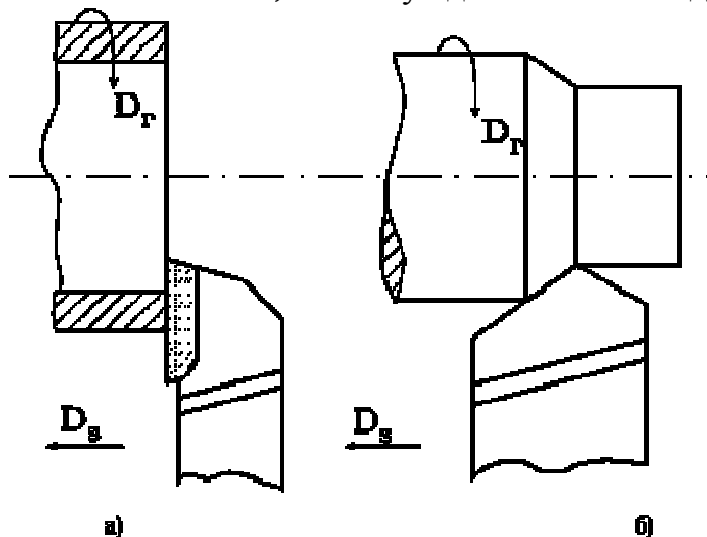


Рис. 2.3. Свободное (а) и несвободное резание (б).

2. Несвободное (осложненное) резание (рис.3б). Характеризуется тем, что отдельные объемы срезаемого слоя на разных участках режущей кромки перемещаются в разных направлениях, что создает условия сложного деформирования и затрудняет образование стружки.

При несвободном резании отдельные элементарные объемы срезаемого слоя перемещаются в разных направлениях и поэтому в разных точках зоны резания одни и те же явления совершаются по-разному, с разной степенью интенсивности. Картина состояния материала в зоне резания в одной секущей плоскости не является типичной для всех других секущих плоскостей и не повторяет картины состояния материала в других секущих плоскостях.

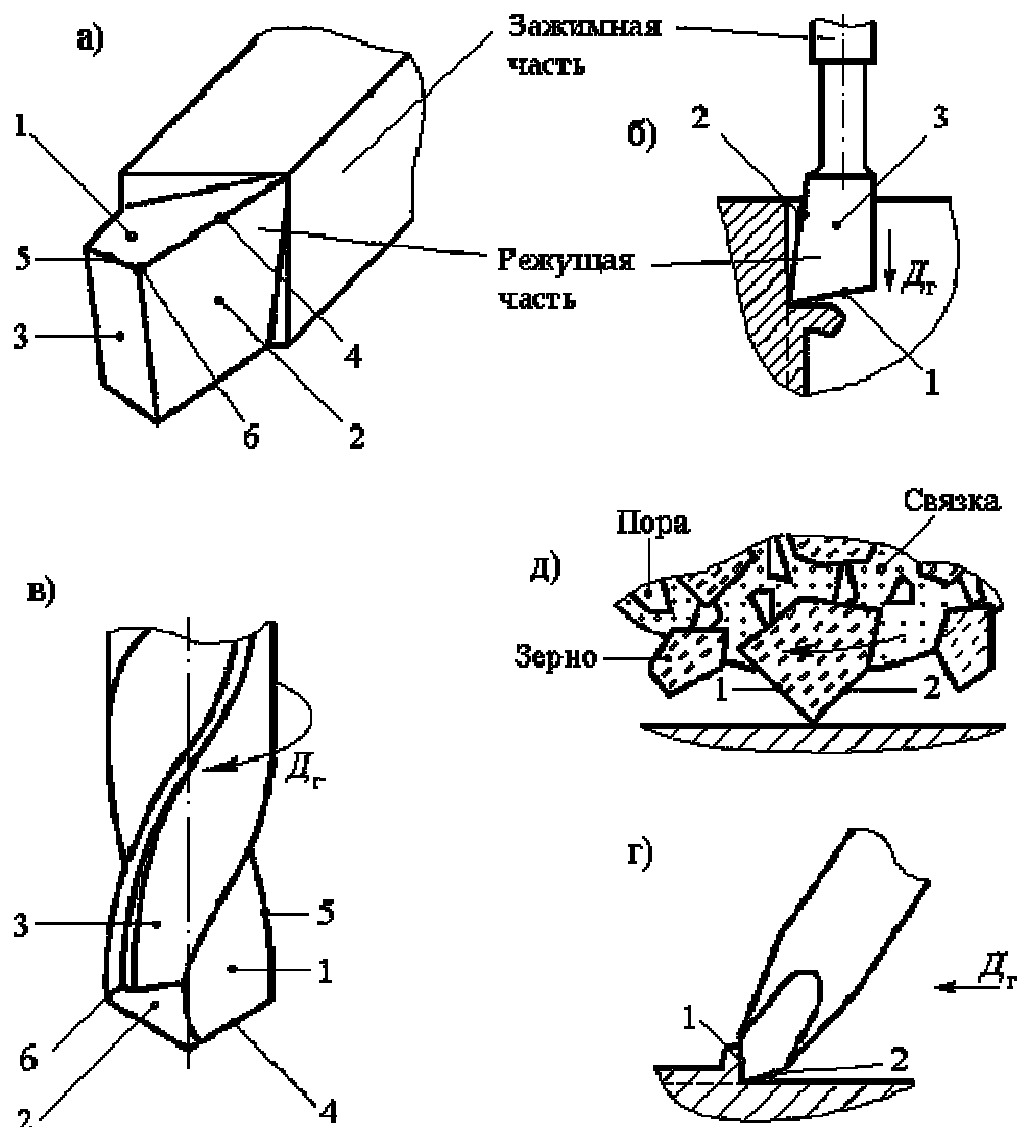
По расположению режущей кромки режущего лезвия относительно направления главного движения (вектора скорости резания) резание может быть прямоугольным или косоугольным. При расположении режущей кромки под прямым углом к направлению главного движения резание называется прямоугольным. Если же режущая кромка расположена к направлению резания не под прямым углом (косо), резание называется косоугольным. При прямоугольном резании стружка завивается в плоскую логарифмическую спираль, а при косоугольном резании – в винтовую, направление и шаг которой зависят от расположения кромки.

Резание может осуществляться режущими инструментами с одним режущим лезвием или с несколькими. Согласно этому резание может называться однолезвийным или многолезвийным. Оно может быть непрерывным, например, при точении, или прерывистым, как при фрезеровании, и происходить с постоянным или переменным сечением среза.

Лекция 3. Режущие инструменты

3.1. Геометрические параметры режущей части инструментов

Отделение срезаемого слоя металла производится режущим лезвием инструмента. Режущая часть инструмента ограничивается рабочими поверхностями, которые в зависимости от расположения относительно обрабатываемого изделия имеют определенные названия. Разные инструменты имеют различную форму зажимной и режущей частей, однако их режущие части имеют общее устройство и ограничиваются рабочими поверхностями, присущими режущей части любого инструмента. Обычно режущая часть имеет одну переднюю и несколько задних поверхностей.



1 – передняя поверхность, 2 – главная задняя поверхность, 3 – вспомогательная задняя поверхность, 4 – главная режущая кромка, 5 – вспомогательная режущая кромка, 6 – вершина режущего лезвия.

Рис. 3.1. Составные части и рабочие поверхности инструментов.

На рис.3.1. показаны рабочие поверхности и режущие кромки режущих частей: а – токарного резца, б – долбежного резца, в – спирального сверла, г – слесарного зубила, д – зерен абразивного инструмента.

Передней поверхностью (1) называется поверхность, по которой сходится образующаяся в процессе резания стружка.

Главной задней поверхностью (2) называется поверхность, обращенная к поверхности резания.

Вспомогательной задней поверхностью (3) называется поверхность, обращенная к обработанной поверхности.

Ребро, которое образуется в результате пересечения передней и главной задней поверхности, называется главной режущей кромкой (4). Пересечением передней поверхности с вспомогательной задней поверхностью образуется вспомогательная режущая кромка (5).

Точка пересечения главной (4) и вспомогательной (5) режущих кромок называется вершиной (6) режущего лезвия (резца, режущего зуба).

Для обеспечения эффективной работы режущего инструмента поверхности его режущего лезвия должны располагаться определенным образом относительно направления движения резания.

Для рассмотрения геометрических параметров режущей части инструмента устанавливаются системы координатных плоскостей и сами координатные плоскости: плоскость резания и основная плоскость. Для контроля режущего инструмента применяется инструментальная система координат с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно геометрических элементов режущего инструмента, принятых за базу.

Статическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания.

Кинематическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания.

Геометрические параметры (углы) режущего инструмента рассматриваются в этих системах координат. В статической – как геометрические параметры твердого тела – неподвижного предмета, в кинематической – как углы работающего инструмента в процессе резания. На рис.3.2. показаны токарный резец в проекции на основную плоскость 1, сечения его в главной секущей плоскости 2, в рабочей плоскости 3 и вспомогательной секущей плоскости 4, вид резца со стороны главной задней поверхности 5 и следы координатных и секущих плоскостей.

секущей плоскости, нормальной секущей плоскости, в рабочей плоскости и в других вспомогательных секущих плоскостях.

Нормальной секущей плоскостью P_n называется секущая плоскость, проходящая перпендикулярно (нормально) режущей кромке в рассматриваемой точке.

Главной секущей плоскостью P_z называется координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости с плоскостью резания и проходящая через главную режущую кромку.

В плане, то есть в проекции на основную плоскость, рассматриваются следующие углы: главный угол в плане Φ , угол при вершине в плане Ξ , вспомогательный угол в плане Φ_1 . Эти углы связаны между собой зависимостью:

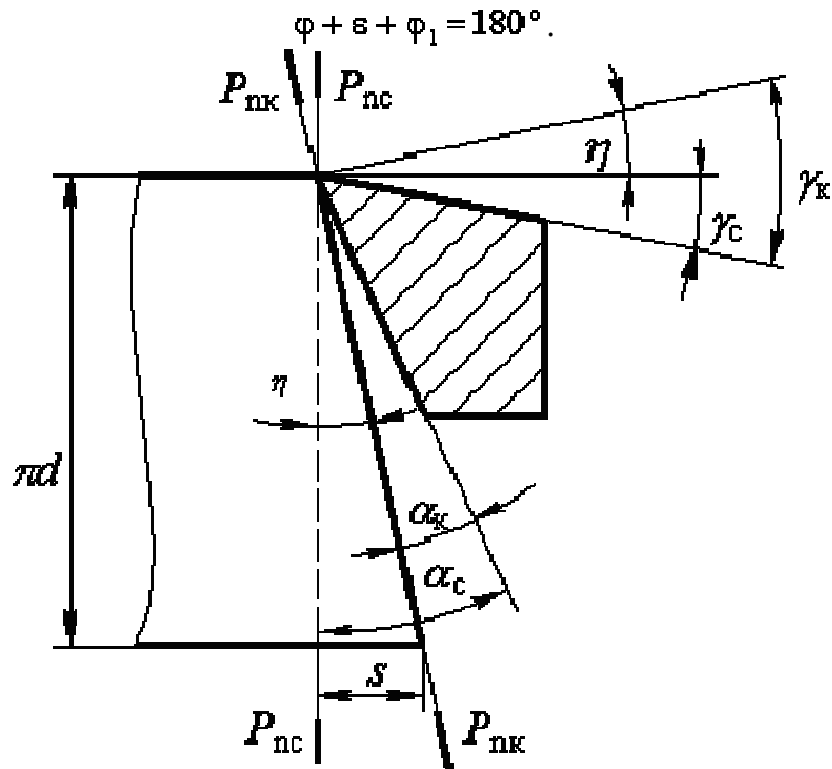


Рис. 3.3. Статические и кинематические углы резца и зависимость их от подачи и диаметра обрабатываемой поверхности

В главной секущей плоскости P_z рассматриваются углы: главный задний α , передний угол γ и угол заострения β . Во вспомогательной секущей плоскости P' рассматривается и измеряется только один угол – вспомогательный задний угол α_1 . В плоскости резания измеряется угол наклона главной режущей кромки λ .

Сумма углов резца в главной секущей плоскости равна 90 градусам:

$$\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ.$$

Кроме рассмотрения углов резца в статической системе координат как углов какого-то геометрического тела (или углов резца в статике) следует рассматривать углы резца в движении, в кинематической системе координат. В результате сложения главного движения с движением подачи при резании изменяется величина углов режущего инструмента, приданных ему при заточке.

Углы в статической системе координат называются статическими углами, углы в кинематической системе координат – кинематическими. Величина кинематических углов зависит от скорости резания и подачи.

матических углов отличается от величины статических на величину кинематического угла скорости резания η , угла между векторами скорости резания v и скорости результирующего движения v_c . Из рис.3.2. видно, что при резании задний угол уменьшается, а передний увеличивается на величину угла скорости резания. Величина этого кинематического угла легко определяется из схемы на рис.3.3., где резец условно показан в контакте с разверткой обрабатываемой торцевой поверхности на цилиндрической заготовке. Здесь видно, что:

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{s}{\pi \cdot d};$$

$$\eta = \operatorname{arctg} \frac{s}{\pi \cdot d}$$

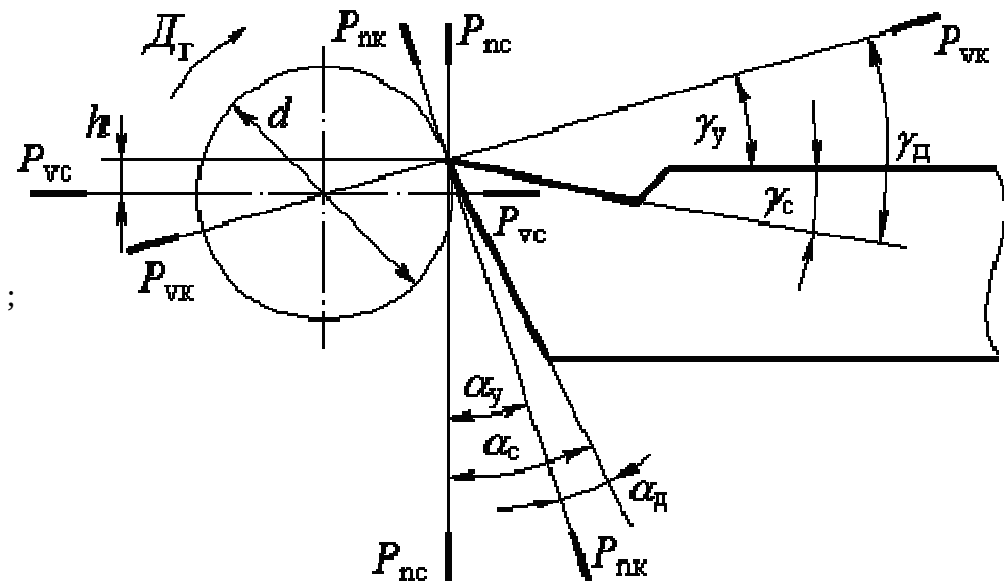


Рис. 3.4. Зависимость величины переднего и заднего углов от установки резца.

$$\alpha_k = \alpha_s - \eta;$$

$$\gamma_k = \gamma_s + \eta,$$

где d – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; s – величина подачи, мм/об.

Действительная величина углов резца зависит также от установки его относительно оси центров токарного станка. Зависимость эта поясняется схемой на рис. 3.4. Из схемы видно, что действительная величина переднего и заднего углов (α_d и γ_d) изменяется на величину угла установки α_y . Его величина определяется из соотношения

$$\sin \alpha_y = \frac{h}{d/2} = \frac{2h}{d};$$

где d – диаметр обрабатываемой детали, мм; h – высота смещения вершины резца, мм.

Величина угла γ_y равняется величине угла:

$$\gamma_y = \alpha_y;$$

Действительные углы:

$$\alpha_d = \alpha_s \pm \alpha_y,$$

$$\gamma_d = \gamma_c \pm \gamma_n;$$

На представленных выше рисунках показаны упрощенные схемы расчета действительных углов. В обычных, не упрощенных случаях величины углов находятся в более сложной зависимости. Из приведенных данных видно, что изменение углов инструмента при резании тем больше, чем меньше диаметр обрабатываемого изделия и больше подача. При установке резца выше центра задний угол уменьшается, а передний – увеличивается. При установке резца ниже центра увеличивается задний угол и уменьшается передний.

Лекция 4. Процесс образования стружки

4.1. Состояние материала в зоне резания и виды образующихся стружек

Конкретная задача процесса резания заключается в образовании новой поверхности. Поскольку прочность обрабатываемого материала соизмерима с прочностью материала инструмента, для обеспечения работоспособности инструмента его приходится



Рис. 4.1. Микрофотография корня стружки скалывания, полученного при резании коррозионностойкой стали 12X18H10T.

упрочнять путем увеличения угла заострения до 90° и более. При такой конфигурации инструмента весь срезаемый слой припуска подвергается пластической деформации и превращается в стружку, а сам процесс резания по существу

становится процессом пластической деформации всего срезаемого слоя припуска на обработку.

В процессе механической обработки в зависимости от свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущего инструмента и величины элементов режима резания могут образовываться различные по своему виду стружки. По внешнему виду и может быть бесчисленное множество, которое подразделяется на три основных вида: стружки скалывания, сливные и стружки надлома.

Посмотрите на рис.4.1., где представлена микрофотография корня стружки скалывания в главной секущей плоскости и на рис.4.2. с микрофотографией корня сливной стружки. Обратите внимание на то, что в стружке скалывания четко видны ее отдельные элементы. В сливной стружке на рис.4.2. отдельные элементы трудно различимы.

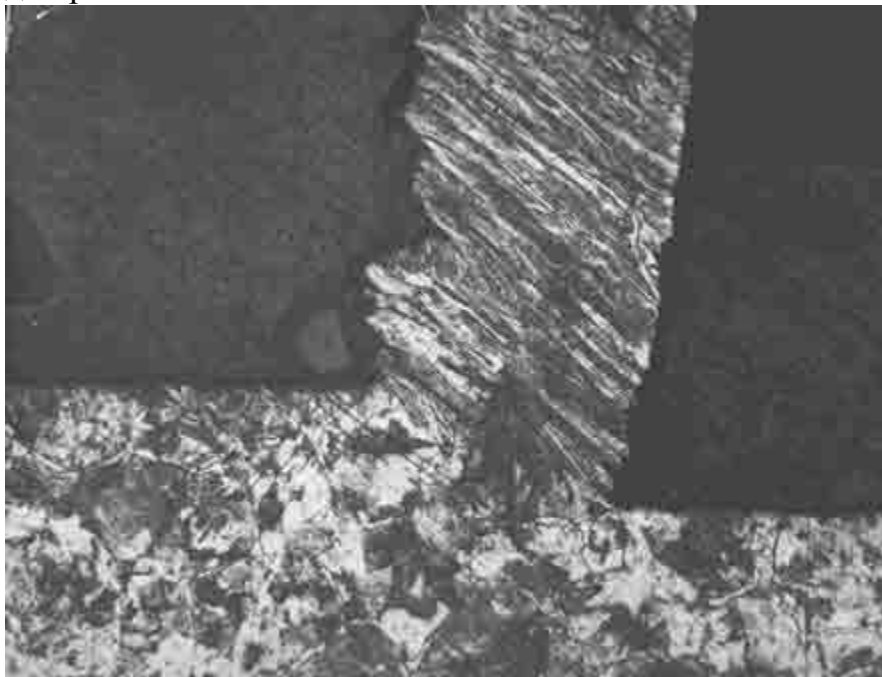


Рис.4.2. Микрофотография корня сливной стружки, полученного при резании стали 40Х.

Вид образующейся стружки зависит от многих факторов, таких как, например, свойства внешней среды, в которой осуществляется резание, величины переднего угла инструмента и других факторов.

При внимательном рассмотрении корня сливной стружки можно увидеть, что отдельные ее элементы, деформированы (вытянуты) в направлении, не совпадающем с положением плоскости скалывания, расположенной под углом β_1 . На рис.4.3. видно, что разрушение срезаемого слоя происходит по плоскости скалывания, а наибольшая пластическая деформация происходит в другом направлении, под углом к этой плоскости, под углом β_2 . Первое направление под углом β_1 принято называть направлением наибольших напряжений, второе направление под углом β_2 называют направлением наибольших деформаций.

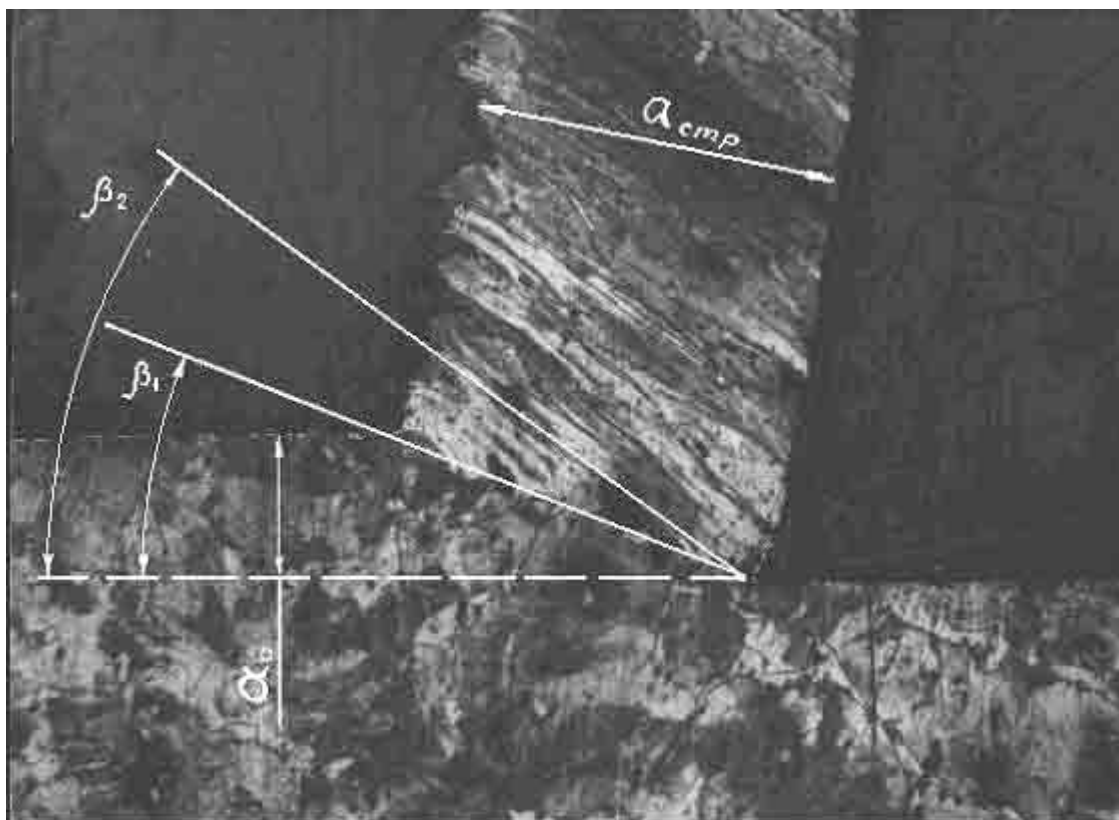


Рис.4.3. Микрофотография корня стружки, полученного при точении стали 45.

На фотографиях корней стружек можно видеть так же, что в прирезцовой части стружки (особенно хорошо видно на рис.4.1.) деформация не имеет строго выраженного направления, прирезцовые слои металла вытянуты в направлении, параллельном передней поверхности инструмента. Такая вторичная деформация срезаемого слоя происходит из-за сильного трения на передней поверхности, в зоне контакта ее с прирезцовой поверхностью уже образовавшейся стружки.

При резании материалов средней пластичности на средних скоростях резания образуются стружки скалывания, при резании мягких пластичных материалов или тех же, но на больших скоростях резания образуются сливные стружки.

Процесс образования стружек скалывания происходит в описанной ниже последовательности (рис.4.4.).

Под действием силы P резец внедряется в обрабатываемый материал и производит смятие его в каком-то объеме. По мере перемещения резца длина площадки смятия $\square_{\text{см}}$ увеличивается и на обрабатываемый материал, на его элементарный объем – элемент будущей стружки, действует все большая возрастающая сила. Увеличение этой силы идет до тех пор, пока не произойдет скалывание элемента по плоскости 1–1 под углом β_1 . Эта плоскость называется плоскостью скалывания, а угол β_1 – углом скалывания.

Со стороны резца на элемент стружки действует сила $P_{\text{см}}$:

$$P_{\text{см}} = \sigma_{\text{см}} \cdot f_{\text{ср}} = \sigma_{\text{ср}} \cdot l_{\text{ср}} \cdot b,$$

где $\sigma_{\text{см}}$ – предел прочности обрабатываемого материала на смятие,

b – ширина среза,

$l_{\text{см}}$ – длина площадки смятия.

Элемент удерживается силой $P_{\text{ск}}$:

$$P_{\sigma} = \tau_{\sigma} \cdot f_{\sigma} = \tau_{\sigma} \cdot l_{\sigma} \cdot b,$$

$$l_{\sigma k} = \frac{a}{\sin \beta_1},$$

где τ_{σ} – предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг (скалывание),

a – толщина среза.

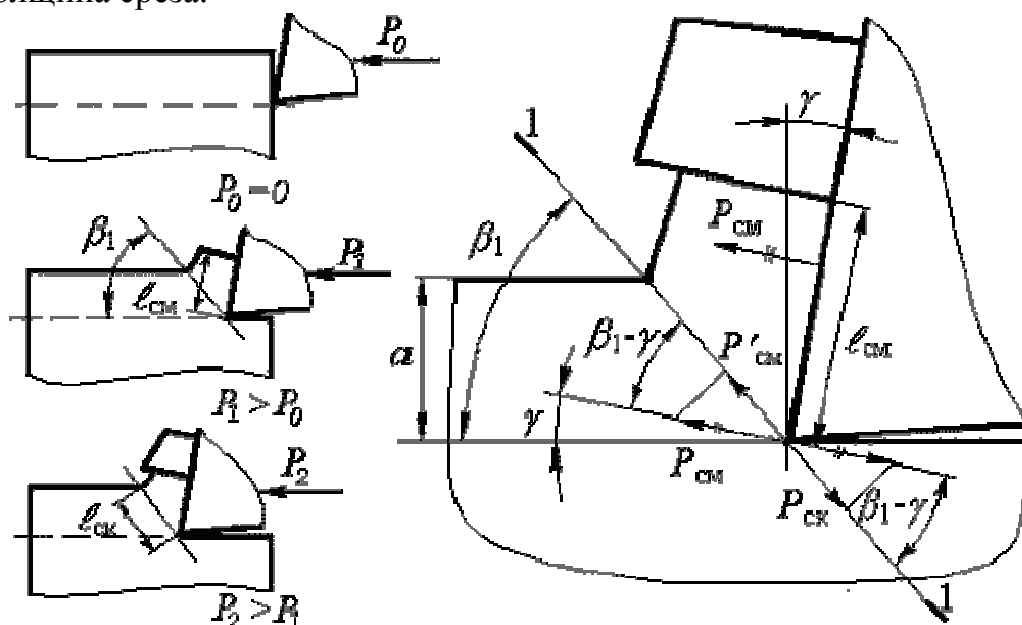


Рис.4.4.Схема образования стружек скалывания.

Для скалывания элемента необходимо, чтобы:

$$P'_{\sigma k} = P_{\sigma k} \cdot \cos(\beta_1 - \gamma) \geq P_{\sigma k},$$

$$\sigma_{\sigma k} \cdot l_{\sigma k} \cdot b \cdot \cos(\beta_1 - \gamma) = \tau_{\sigma k} \cdot l_{\sigma k} \cdot b,$$

$$l_{\sigma k} = \frac{\tau_{\sigma k}}{\sigma_{\sigma k}} \cdot \frac{a}{\sin \beta_1} \cdot \frac{1}{\cos(\beta_1 - \gamma)}.$$

Отсюда видно, что размеры скалываемых элементов зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала, толщины среза, величины переднего угла и угла скалывания, величина которого сильно зависит от свойств внешней среды, в которой осуществляется резание.

Периодический характер образования стружки вызывает колебания силы резания, что делает процесс резания динамически неустойчивым.

Признаком стружек скалывания является наличие различных на глаз крупных элементов. Скалывание элементов не приводит к разрушению металла, стружка представляет собой прочное тело из крепко соединенных друг с другом элементов.

Сливная стружка представляет собой сплошную ленту, в которой отдельные ее элементы не вооруженным глазом трудно различимы и не просматриваются. В отличие от процесса образования стружек скалывания, в сливных стружках деформация смятия происходит одновременно со сдвигом элементов. Как только произойдет его сдвиг, на плоскости сдвига металл упрочнится и элемент остановится, прекратит свое движение по плоскости скалывания. При остановке он снова сминается движущимся инструментом, площадка смятия у основания

элемента увеличивается, сила $P_{см}$ становится больше $P_{ск}$ и элемент вновь сдвигается. И так происходит в течение всего времени образования стружки. Процесс образования стружки здесь не заканчивается в зоне сдвига. При образовании сливных стружек процесс формирования их продолжается в течение всего времени движения по передней поверхности режущего инструмента.

При резании хрупких металлов образуются стружки надлома. Резец, внедряясь в металл, не сдвигает его, а сжимает и вырывает сжатый надломленный элемент. Разрушение идет по поверхности, произвольно охватывающей напряженную зону, поэтому обработанная поверхность получается неровной.

4.2. Усадка стружки

В связи с тем, что при механической обработке весь срезаемый слой припуска подвергается пластической деформации, форма и размеры срезаемого слоя изменяются. Ширина среза остается неизменной, а толщина стружки увеличивается по сравнению с толщиной среза. Поскольку объем стружки равен объему срезаемого слоя, ширина стружки равна ширине среза, а толщина стружки больше толщины среза, естественно, должно произойти уменьшение длины стружки по сравнению с длиной срезаемого слоя. Это явление уменьшения длины стружки по сравнению с длиной поверхности, по которой она срезана, называется усадкой.

Количественно усадка оценивается коэффициентом усадки стружки, который отражает величину пластической деформации, имевшей место при резании. Поэтому при исследовании влияния какого-либо фактора на процесс резания часто прибегают к оценке этого влияния по изменению величины коэффициента усадки стружки.

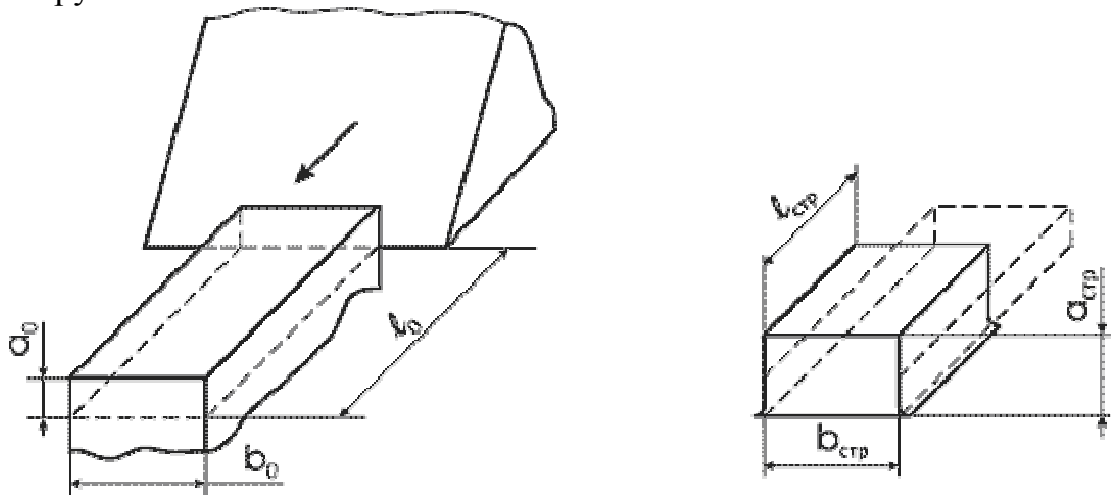


Рис. 4.5. Усадка стружки.

Явление усадки стружки поясняется схемой на рис.4.5. На схеме показано уменьшение длины стружки $l_{стр}$ по сравнению с длиной среза l_0 . Ширина стружки не изменяется, лишь на прирезцовой ее стороне имеет место уширение тонкого прирезцового слоя. Этим уширением можно пренебречь, поскольку оно не распространяется на всю толщину стружки. Уменьшение длины стружки называется продольной усадкой, увеличение толщины стружки – поперечной усадкой. Соответственно и коэффициенты усадки называются коэффициентами

продольной и поперечной усадки стружки. Количественно эти коэффициенты равны между собой.

Поскольку объем стружки равен объему срезаемого слоя, можно записать, что:

$$a_0 \cdot v_0 \cdot l_0 = a_{стр} \cdot v_{стр} \cdot l_{стр},$$

$$v_0 = v_{стр},$$

поэтому:

$$a_0 \cdot l_0 = a_{стр} \cdot l_{стр},$$

$$\frac{l_0}{l_{стр}} = \frac{a_{стр}}{a_0},$$

но $\frac{l_0}{l_{стр}}$ есть коэффициент продольной усадки $K_l = \frac{l_0}{l_{стр}}$, а

$$\frac{a_{стр}}{a_0} — \text{коэффициент поперечной усадки } K_a = \frac{a_{стр}}{a_0}.$$

Следовательно:

$$K_l = K_a = K.$$

Величина коэффициента усадки стружки зависит от свойств обрабатываемого материала, геометрии режущего лезвия инструмента, свойств внешней среды, в которой осуществляется резание, и других факторов. Из элементов режима резания менее всего на усадку, величину коэффициента усадки, влияет глубина резания, сильнее – подача и наиболее сильно скорость резания: с увеличением скорости усадка уменьшается. При резании углеродистых сталей коэффициент усадки стружки находится в пределах 2 – 3. При резании трудно обрабатываемых материалов, таких как жаропрочные и титановые сплавы, коррозионостойкие стали и другие, иногда наблюдается «отрицательная» усадка, при которой толщина стружки меньше толщины срезаемого слоя. Пример такой усадки показан на рис.4.6. Здесь видно, что толщина среза a больше средней толщины стружки.

Лекция 5. Образование нароста и состояние материала под поверхностью резания.

При резании металлов срезаемый слой в результате пластического деформирования приобретает повышенную физическую активность и, будучи плотно прижатым силами нормального давления к передней поверхности режущего инструмента, схватывается (сваривается) с ней.

Схватыванию обрабатываемого материала с материалом инструмента способствуют высокая температура в зоне резания и то обстоятельство, что при резании в контакт вступают вновь образованные ювенильные физико-химически чистые, свободные от каких-либо пленок поверхности. Первоначально на поверхности контакта стружки с передней поверхностью происходят точечные контакты с образованием наливов на передней поверхности. С течением времени число таких наливов растет и они покрывают площадь контакта сплошной тонкой пленкой из обрабатываемого материала, которая называется первослоем. Поскольку этот первослой обладает абсолютным сродством с обрабатываемым

материалом, акты схватывания между ними происходят чаще и интенсивнее с образованием более крупных наслоений. Схватывание и наслаивание микрообъемов обрабатываемого металла на переднюю поверхность инструмента приводит к образованию на ней слоя упрочненного микролегированного материала, прочно соединенного с инструментом. Процессы периодического схватывания и последовательного наслаивания упрочненного материала стружки повторяются многократно, в результате на передней поверхности образуется новое довольно крупное тело, называемое наростом. Из представленной на рис.5.1. фотографии хорошо видно ярко выраженное слоистое строение нароста. Форма нароста зависит от свойств обрабатываемого материала, элементов режима резания и других конкретных условий обработки. Нарост состоит из основания и вершины. Вершина является неустойчивой частью нароста, она, по мере увеличения высоты нароста, разрушается и уносится из зоны стружкообразования, сходящей по ней стружкой (как это видно на рис.5.1) или поверхностью резания обрабатываемой заготовки (см. рис.5.4)

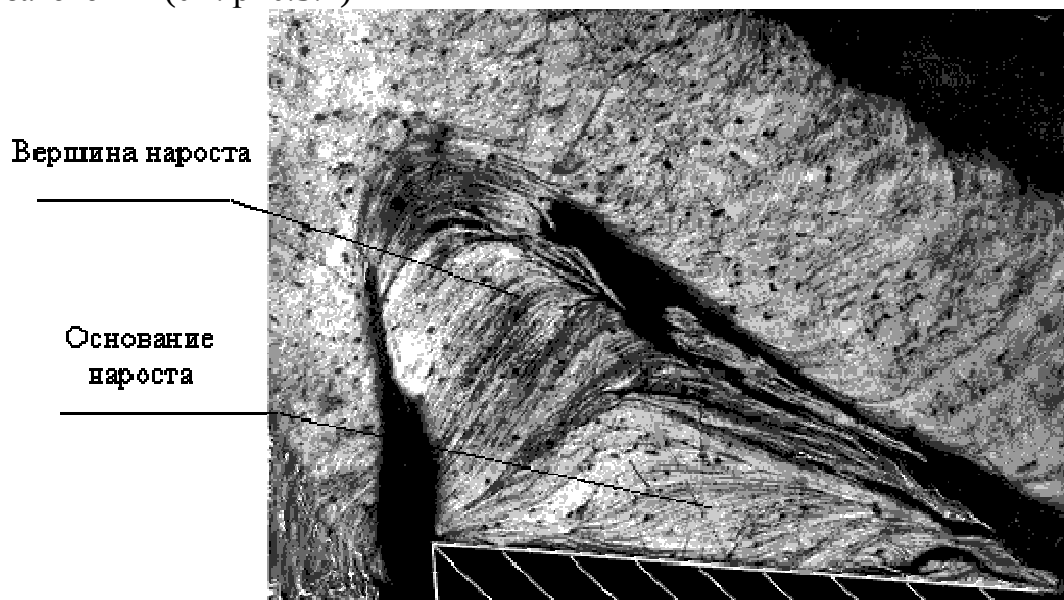


Рис.5.1. Строение нароста

Из параметров режима резания на интенсивность образования, размеры и форму нароста наиболее сильно влияет скорость резания. На очень малых скоростях резания нарост не удерживается на передней поверхности инструмента, из-за мелко-элементной сыпучей стружки с увеличением скорости интенсивность образования нароста возрастает лишь до какого-то значения скорости, после которого интенсивность его образования и размеры начинают уменьшаться.

На рис.5.2. представлены корни стружки, полученные, при точении стали 45 с разными скоростями резания.

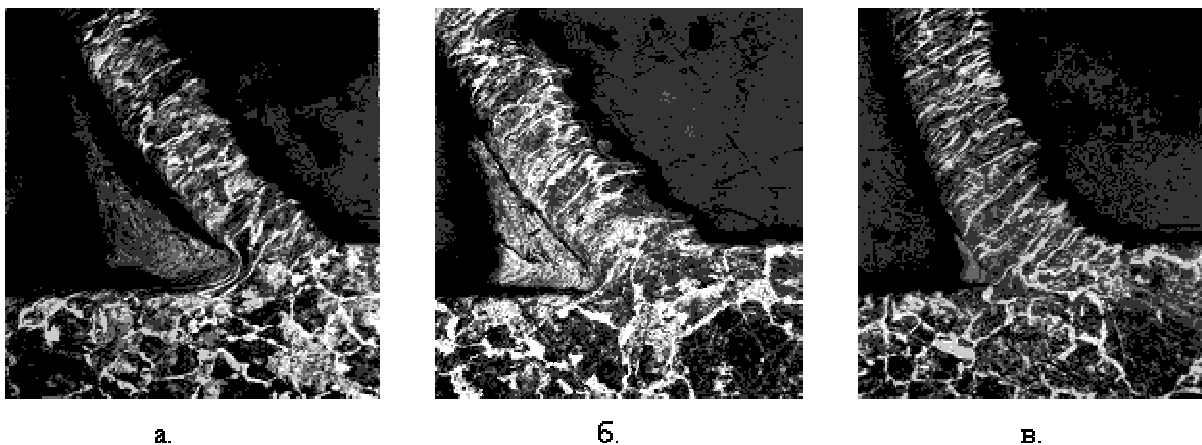


Рис.5.2. Корни стружки с наростом, полученные при точении, стали 45. Скорость резания: а. — 13, б. — 28 и в. — 55 м/мин.

Здесь видно, что скорость резания сильно влияет на размеры и форму нароста. Нарост наибольшей высоты образуется на скорости 13 м/мин. На скорости 28 м/мин. образуется нарост меньшей высоты и другой формы. На сравнительно большой скорости резания 55 м./мин. нароста уже почти нет. Можно предположить, что на такой скорости температура в зоне резания выше температуры «отдыха» обрабатываемого материала, под влиянием которой материал нароста разупрочняется и не может противостоять истирающему действию обрабатываемого материала.

Поскольку нарост образуется из сильно деформированного металла, твердость которого намного больше твердости исходного обрабатываемого, то и нарост в целом имеет высокую твердость, в 2...3 раза превосходящую твердость обрабатываемого материала. Наличие высокой твердости позволяет наросту успешно противостоять воздействию стружки и выполнять работу самого режущего инструмента. Он служит продолжением инструмента и принимает на себя его функции. Химический и микроструктурный анализы нароста показали, что в составе нароста задерживается наиболее сильно упрочняющаяся перлитная структурная составляющая обрабатываемого материала, которая и обеспечивает высокую твердость нароста.

Нарост на режущем инструменте образуется не всегда, а только в тех случаях, когда условия резания благоприятствуют этому. Необходимыми условиями существования нароста являются следующие:

1. Обрабатываемый материал должен обладать способностью упрочняться при пластическом деформировании.
2. Температура в зоне резания должна быть ниже той температуры, при которой происходит разупрочнение материала нароста.
3. Должна образовываться сливная стружка. При образовании стружек скалывания нарост не удерживается на передней поверхности вследствие прерывистости процесса резания.
4. Коэффициент трения в зоне контакта обрабатываемого материала с передней поверхностью должен быть больше единицы.

Если условия для существования нароста вполне подходящие, нарост образуется и существенно влияет на параметры процесса резания и состояние обработанной поверхности (рис. 5.3). Образование нароста изменяет фактическую

геометрию инструмента, передний угол увеличивается и становится больше переднего угла, приданного инструменту при его заточке ($\gamma_\phi > \gamma_3$). Процесс резания происходит легче. Поверхность нароста, обращенная к стружке, становится продолжением передней поверхности инструмента. Изменение фактического угла резания вызывает изменение характера процесса образования стружки.

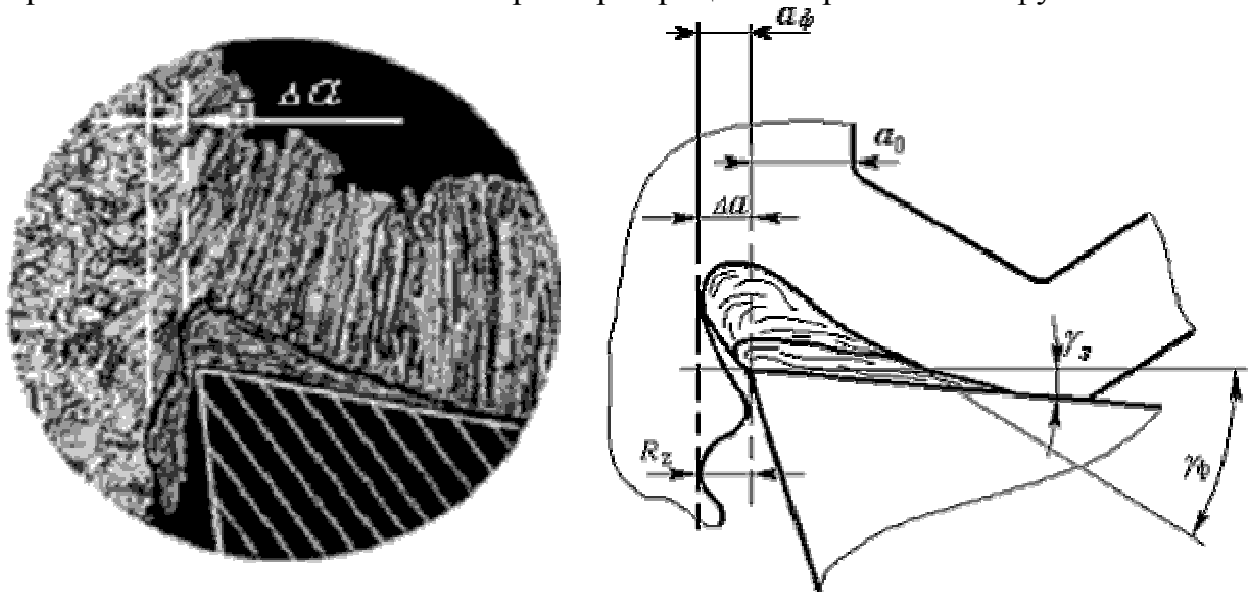


Рис. 5.3. Влияние нароста на величину переднего угла, толщину среза и шероховатость поверхности резания.

В случае свешивания вершины нароста над задней поверхностью инструмента изменяется фактическая толщина среза. Фактически толщина среза $a_\phi = a_0 + \Delta a$. Сказанное, иллюстрируется, представленной на рис.5.3. схемой зоны резания с наростом и иллюстрируется представленной на рис.5.4. фотографией нароста, полученного, при резании коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т. На ней случайно, но очень удачно запечатлен момент разрушения вершины нароста, которая уносится из зоны

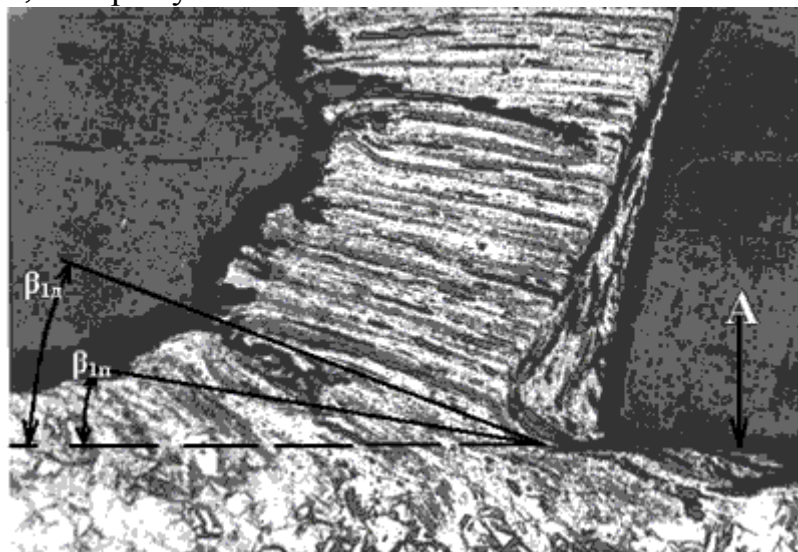


Рис. 5.4. Корень стружки с разрушающимся наростом.

образования стружки с поверхностью резания.

Δ – часть вершины нароста на поверхности резания,

β_d – угол скалывания до разрушения нароста,

Δ_{π} – угол скалывания после разрушения нароста.

Здесь надо обратить внимание на изменение положения плоскости скалывания. Вслед за разрушением нароста уменьшается угол скалывания Δ_{π} и увеличивается толщина образующейся стружки. Нарост представляет собой тело твердое, но неустойчивое, он периодически разрушается, и фактическая толщина среза постоянно меняется вслед за изменением размера нароста. По этой причине обработанная поверхность получается неровной, со следами надиров и вырывов. Располагаясь на передней поверхности и свешиваясь над задней поверхностью, нарост закрывает главную режущую кромку и предохраняет ее от разрушения.

В некоторых случаях нарост бывает настолько устойчив, что в течение всего периода резания исключает контакт стружки с передней поверхностью инструмента. Так на рис.5.5 представлены фотографии быстрорежущего проходного упорного резца с наростом и после его удаления.

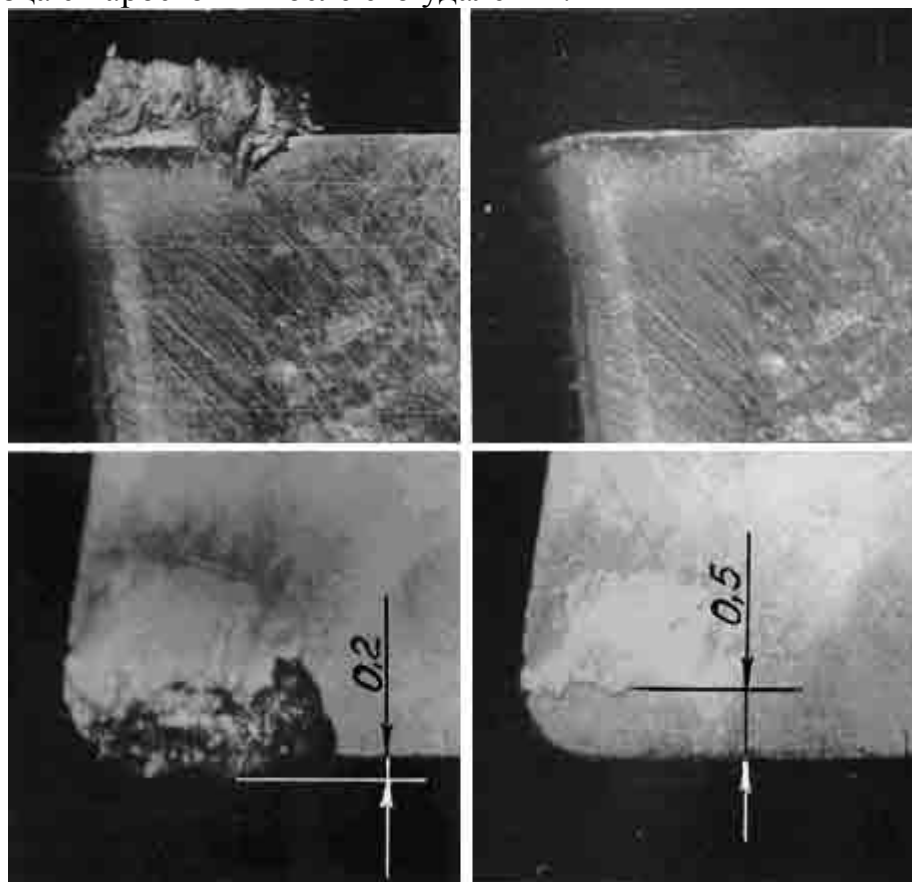


Рис.5.5. Фотографии проходного упорного резца со стороны главной задней поверхности (вверху) и со стороны передней поверхности (внизу), с наростом (слева) и после его удаления (справа).

После удаления нароста на передней поверхности резца «под наростом» обнаружили следы доводки передней поверхности порошком карбида бора.

Эти следы в виде мелких царапин стерты за пределами нароста, свидетельствуют о том, что нарост надежно защищал переднюю поверхность от действия стружки в течении всего времени резания.

Образование нароста, защищающего режущий инструмент от изнашивания, в этом смысле следовало бы признать полезным явлением. Однако, несмотря на

это, явление образования нароста следует признать нежелательным, как неуправляемое.

Кроме образования нароста при срезании стружки происходит деформация материала под поверхностью резания. Обрабатываемый материал здесь подвергается упругопластической деформации. Это происходит по двум причинам. Во-первых, потому, что режущее лезвие всегда имеет какое-то округление радиусом ρ (рис. 5.6).

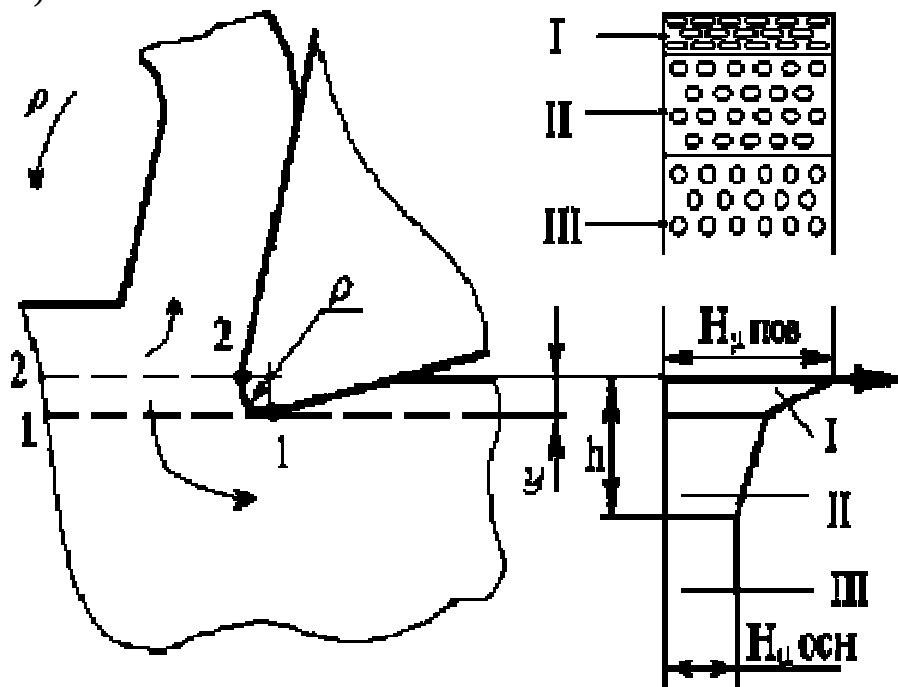


Рис. 5.6. Деформация и упругое последствие в зоне резания

По этой причине разделение металла происходит не по линии 1–1, а по линии 2–2. Металл под линией 2–2 проволакивается под округленной частью режущего лезвия и пластически деформируется. Во-вторых, поскольку пластической деформации предшествует упругая деформация, восстанавливающаяся после прохождения инструмента, имеет место *подъем* поверхности резания на величину упругого последствия «Y». Прижатый к задней поверхности материал трется об нее и еще раз пластически деформируется.

В силу этих причин материал под поверхностью резания оказывается пластически деформированным, в нем появляются остаточные напряжения, уравновешивающиеся внутри объема металла под поверхностью резания.

Верхние слои металла оказываются сильно разрушенными. Анализ состояния металла под поверхностью резания (см. рис.5.6) показывает, что там обнаруживаются 3 зоны: I – зона больших пластических деформаций; II – зона наклепанного металла; III – зона исходного металла. Состояние материала под поверхностью резания в целом оценивается: 1-глубиной проникновения пластической деформации h и степенью упрочнения его поверхностных слоев C . Степенью упрочнения называется отношение твердости упрочненного поверхностного слоя к твердости основного (недеформированного) металла:

$$C = \frac{H_{\text{поверхности}}}{H_{\text{основ}}}.$$

Степень упрочнения и глубина деформации зависят от толщины среза, скорости резания, геометрии режущего инструмента, свойств обрабатываемого материала и других факторов.

Лекция 6. Силы и работа резания

6.1. Система сил при свободном резании

При механической обработке готовая деталь-изделие требуемой формы и качества обработанных поверхностей получается в результате удаления с заготовки слоя (слоев) припуска в виде стружки, состоящей из пластически деформированного обрабатываемого материала. Пластическое деформирование срезаемого слоя припуска происходит под действием силы, превосходящей сопротивление обрабатываемого материала его деформации и разрушению. Для выявления физической природы сил, действующих на режущий инструмент со стороны обрабатываемого материала, представленную на рис.6.1. плоскую систему сил, действующих на режущий инструмент при свободном резании. Образующаяся стружка опирается на переднюю поверхность инструмента и действует на него с силой нормального давления N .

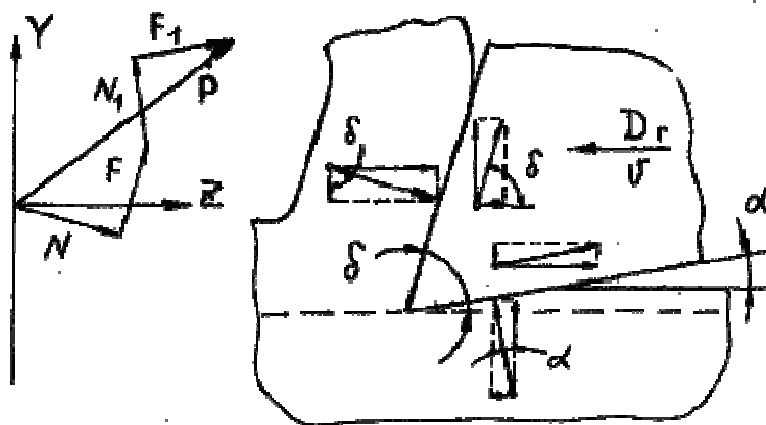


Рис.6.2. Рис.6.1.

Кроме этого стружка перемещается по передней поверхности и действует на нее с силой трения F . Со стороны главной задней поверхности обрабатываемый материал в результате упругого последействия давит на заднюю поверхность с силой нормального давления N_1 . Перемещение поверхности резания относительно задней поверхности инструмента вызывает действие силы трения F_1 . Таким образом, на площадках контакта обрабатываемого материала с режущим инструментом на рабочих поверхностях последнего действуют нормальные и касательные силы, геометрическая сумма которых рис.6.2. дает равнодействующую R , произвольно направленную в пространстве.

В инженерных расчетах используется не сама эта сила, а ее проекции на взаимно перпендикулярные направления: направление Z и направление Y . Каждая проекция называется составляющей силы резания и имеет свое собственное название: проекция на ось Z называется главной составляющей силы резания, обозначается P_z , проекция на ось Y называется радиальной составляющей силы резания, обозначается P_y .

Пластическая деформация смятия срезаемого припуска происходит под действием силы P_z , равной сумме проекций всех действующих в зоне резания сил на ось Z

$$P_z = N \cdot \sin \delta + F \cdot \cos \delta - N_1 \cdot \sin \alpha + F_1 \cdot \cos \alpha,$$

Здесь: N - нормальная сила на передней поверхности,

F - сила трения на передней поверхности,

N_1 и F_1 - нормальная сила и сила трения на задней поверхности,

γ - главный задний угол,

β - угол резания.

$$\delta = \alpha + \beta$$

или

$$\delta = 90^\circ - \gamma,$$

$$F = f \cdot N, F_1 = f_1 \cdot N_1,$$

где f и f_1 - коэффициенты трения на передней (f) и задней (f_1) поверхностях.

$$P_z = N \cdot \sin \delta + f \cdot N \cdot \cos \delta - N_1 \cdot \sin \alpha + f_1 \cdot N_1 \cdot \cos \alpha,$$

$$P_z = N \cdot (\sin \delta + f \cdot \cos \delta) - N_1 \cdot (\sin \alpha - f_1 \cdot \cos \alpha)$$

Если принять, что нормальная сила на задней поверхности пропорциональна силе нормального давления на передней поверхности, что $N_1 = k \cdot N$, где k - коэффициент пропорциональности, тогда: можно записать, что

$$P_z = N \cdot [(\sin \delta + f \cdot \cos \delta) - k \cdot (\sin \alpha - f_1 \cdot \cos \alpha)]$$

В этом уравнении силу N можно условно принять равной силе политропического сжатия P при пластическом деформировании образца (рис.6.3), которое протекает согласно закону:

$$P_0 \cdot l_0^m = P \cdot l = \text{Const},$$

откуда

$$P = P_0 \frac{l_0^m}{l^m}$$

На рис.6.3:

P — сила, действующая в ходе процесса пластической деформации;

P_0 — сила, необходимая для начала пластического деформирования;

l_0 — длина сжимаемого стержня;

l — длина стержня после пластической деформации.

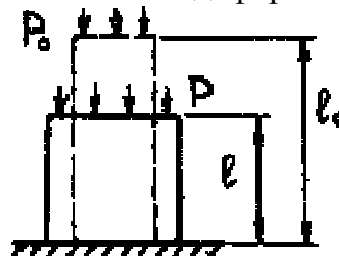


Рис.6.3. Схема процесса политропического сжатия.

Отождествляя процесс резания с процессом пластической деформации срезаемого слоя, считаем, что сжимаемый стержень имеет поперечное сечение $t \cdot s$, срезаемый слой имеет длину l_0 ; силу P отождествляем с силой N , действующей

щей на переднюю поверхность инструмента в процессе резания. После срезания слоя припуска длиной l_0 получается стружка длиной $l(l = l_{\text{стр}})$.

Сила

$$P_0 = \delta_0 \cdot t \cdot s,$$

тогда

$$N = P = \delta_0 \cdot t \cdot s \cdot \left(\frac{l_0}{l_{\text{стр}}} \right)^m$$

отношение $\frac{l_0}{l_{\text{стр}}}$ есть коэффициент усадки стружки K , следовательно

$$N = \delta_0 \cdot t \cdot s \cdot K^m$$

$$P_x = \delta_0 \cdot t \cdot s \cdot K^m \cdot [(\sin \delta + f \cdot \cos \delta) - k(\sin \alpha - f_1 \cdot \cos \alpha)],$$

где

δ_0 — условный предел текучести,

t - глубина резания,

s - подача,

K - коэффициент усадки стружки,

m - показатель политропы сжатия (по В.Д.Кузнецову $m = 1,25$),

k — коэффициент пропорциональности между силами N и N_1 .

f и f_1 - коэффициенты трения на передней и задней поверхностях.

Это уравнение показывает лишь от каких параметров и условий зависит величина главной составляющей силы резания. Из него видно, что величина главной составляющей силы резания зависит от свойств обрабатываемого материала (δ_0), сечения среза ($t \times s$), условий и величины пластической деформации (K), геометрии режущего инструмента (δ и α) и коэффициентов трения на передней (f) и задней (f_1) поверхностях.

6.2. Система сил при несвободном резании

При несвободном резании на режущий инструмент действует пространственная система сил. Режущий инструмент находится в контакте с обрабатываемым материалом по трем рабочим поверхностям его режущей части: по передней, главной задней и вспомогательной задней поверхности. Поскольку эти поверхности инструмента расположены под разными углами друг к другу, то и действующие на этих поверхностях нормальные и касательные силы в пространстве располагаются не параллельно друг к другу, не в параллельных, как при свободном резании, плоскостях. Природа сил, естественно, та же, что и при свободном резании, это силы нормального давления и касательные силы трения. Равнодействующая всех сил при несвободном резании раскладывается на три взаимно перпендикулярных направления X, Y , и Z . Схема сил при несвободном резании представлена на рис.6.4.

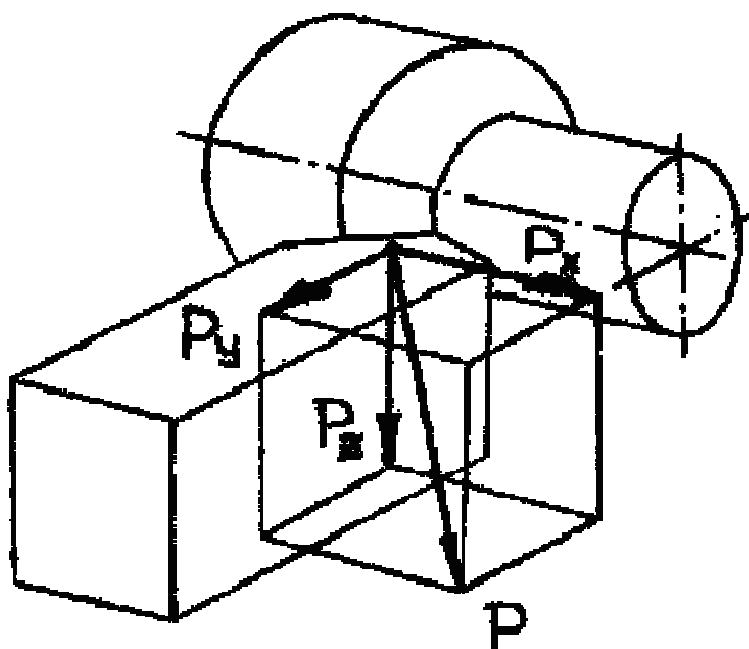


Рис. 6.4. Пространственная система сил при несвободном резании.

Расчет величины составляющих силы резания для практических целей ведется по эмпирическим формулам с использованием данных справочной литературы.

Расчет составляющих силы резания: осевой составляющей P_x , радиальной P_y и главной составляющей силы резания P_z производится по эмпирическим формулам

$$\begin{aligned} P_x &= C_{P_x} \cdot t^{X_{P_x}} \cdot s^{Y_{P_x}} \cdot v^{Z_{P_x}}; \\ P_y &= C_{P_y} \cdot t^{X_{P_y}} \cdot s^{Y_{P_y}} \cdot v^{Z_{P_y}}; \\ P_z &= C_{P_z} \cdot t^{X_{P_z}} \cdot s^{Y_{P_z}} \cdot v^{Z_{P_z}}; \end{aligned}$$

Здесь: P -проекция (составляющая) силы резания на направления X, Y и Z соответственно, Н;

C_P - константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала, по сути своей представляющая удельную силу резания, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения среза, Н/мм²;

k_P - общий коэффициент, представляющий собой произведение частных коэффициентов, учитывающих конкретные условия резания.

6.3. Работа резания

Полная работа резания затрачивается на пластическую деформацию срезаемого слоя припуска, на упругую деформацию, которая всегда предшествует пластической деформации, на преодоление сил трения на передней и задней поверхностях, на образование новой поверхности (она называется работой диспергирования-разделения).

$$A = A_{пл.деф} + A_{упр.деф} + A_{трения} + A_{диспергир.}$$

Работа диспергирования ($A_{диспергир.}$) и работа на упругую деформацию составляют менее 1% всей работы и потому ими можно пренебречь, а вся работа реза-

ния практически расходуется на пластическую деформацию, на преодоление трения на передней и задней поверхностях.

$$A = A_{\text{пл. деф.}} + A_{\text{тр. перед. пов.}} + A_{\text{тр. задн. пов.}}$$

Мощность, необходимая для резания на принятом режиме, рассчитывается по формуле

$$N = \frac{P_x \cdot v}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт.}$$

Здесь:

N — мощность, кВт;

P_x — главная составляющая силы резания, Н;

v — скорость резания, м/мин.

Лекция 7. Тепловые явления при резании металлов

7.1. Источники и распределение теплоты в зоне резания

Процесс резания металлов сопровождается значительным тепловыделением в результате того, что механическая работа резания переходит в тепловую энергию. Основными источниками возникновения тепла в зоне резания являются:

1. внутреннее трение между частицами срезаемого слоя в результате его пластической деформации при образовании стружки (Q_1);
2. трение стружки о переднюю поверхность инструмента (Q_2);
3. трение поверхности резания и обработанной поверхности по задним поверхностям инструмента (Q_3).

Схема расположения источников тепла в зоне резания представлена на рис.7.1.

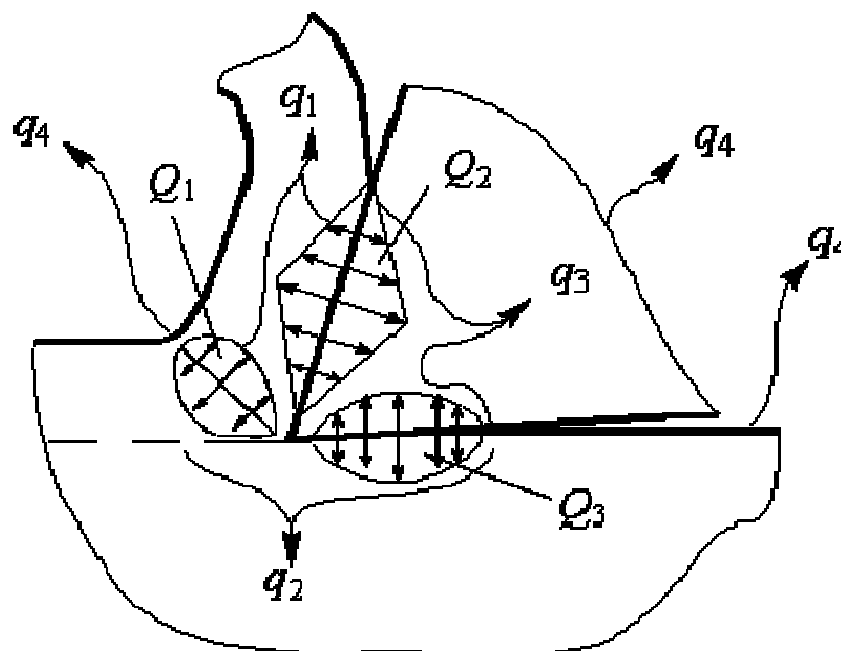


Рис.7.1. Источники тепла в зоне резании.

Наиболее интенсивное выделение тепла происходит в области стружкообразования, прилегающей к плоскости скалывания 1—1 в этой области теплота вы-

деляется в результате двух одновременно протекающих процессов: во-первых, в результате пластической деформации сдвига элементов образующейся стружки по плоскости скалывания; во-вторых, в результате пластической деформации сжатия и частично пластической деформации смятия тонкого слоя металла прилегающего к плоскости скалывания со стороны срезаемого слоя припуска. Этот слой показан на рис.7.2. и выделен штриховкой.

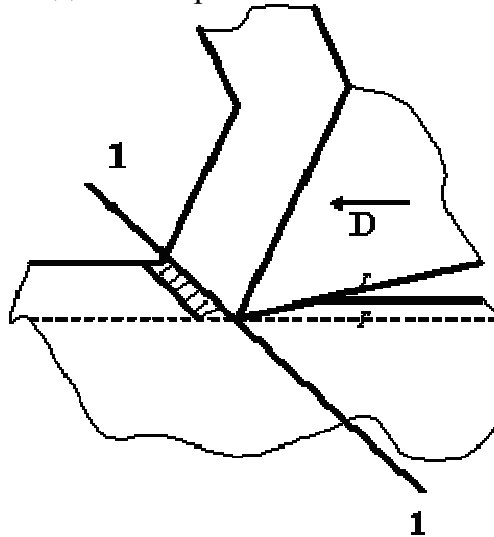


Рис.7.2. Слой упруго-пластической деформации впереди зоны стружкообразования, перед плоскостью скалывания 1-1

Упругая деформация всегда предшествует пластической деформации и потому имеет место и при пластической деформации срезаемого слоя при резании металлов. Пластическая деформация в этом слое обнаруживается путем измерения микротвердости и существует по той же причине, что и деформация материала под поверхностью резания и под обработанной поверхностью. Возможно количество тепла, выделяющегося в результате упругой деформации невелико, но предполагать вероятность этого процесса и учитывать его существование необходимо.

Общее количество выделяющегося при резании тепла равно сумме тепла, выделившегося во всех перечисленных выше источниках:

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Тепло, образующееся в процессе резания, не аккумулируется в местах его образования, а распространяется от точек с более высокой температурой к точкам с низкой температурой. Из зоны резания тепло уносится со стружкой (q_1), передается в заготовку (q_2) и инструмент (q_3) и распространяется в окружающую среду (q_4). Тепловой баланс процесса резания может быть выражен уравнением:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

Соотношение количества тепла, отводимого со стружкой в деталь, в инструмент и окружающую среду, зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущего инструмента и внешних условий, в которых осуществляется резание.

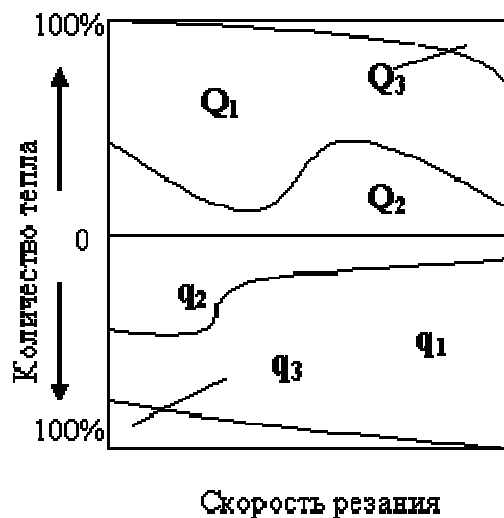


Рис.7.3. Зависимость образования и распределения теплоты, от скорости резания.

В начале обработки температура в зоне резания растет до какого-то определенного значения и устанавливается постоянной, соответствующей стационарному тепловому режиму, при котором выделение тепла равняется отводу его по перечисленным направлениям. Для практических целей наибольший интерес представляет температура рабочей части инструмента и обрабатываемой заготовки. Тепло, переходящее в заготовку, увеличивает ее температуру и вызывает температурное изменение ее размеров и коробление, подчас являющееся причинами брака.

Теплота, переходящая в инструмент, при всей своей относительной незначительности, концентрируясь в малых объемах материала инструмента, вызывает сильный разогрев его в этих объемах и снижение режущих свойств и износоустойчивости инструмента. С увеличением скорости резания доля тепла, переходящего в инструмент, уменьшается, но абсолютное его количество возрастает и температура в зоне резания увеличивается до значений, близких к температуре красностойкости металла инструмента.

7.2 Методы измерения температуры в зоне резания

Существует несколько методов измерения температуры в зоне резания. Калориметрический метод (Рис.7.4) заключается в том, что стружка собирается в калориметре с водой. Зная количество воды в калориметре, вес стружки и ее теплоемкость, можно определить среднюю температуру стружки по разности температуры воды в калориметре до, и после резания.

$$\theta_{стр.} = \theta_{см.} + \frac{G_{воды} \cdot (\theta_{смес} - \theta_{воды})}{G_{стр.} \cdot C_{стр.}}$$

где: $\theta_{стр.}$ — средняя температура стружки,

$\theta_{см.}$ — температура смеси воды и стружки в калориметре,

G — вес воды в калориметре,

$G_{стр.}$ — вес стружки в калориметре.

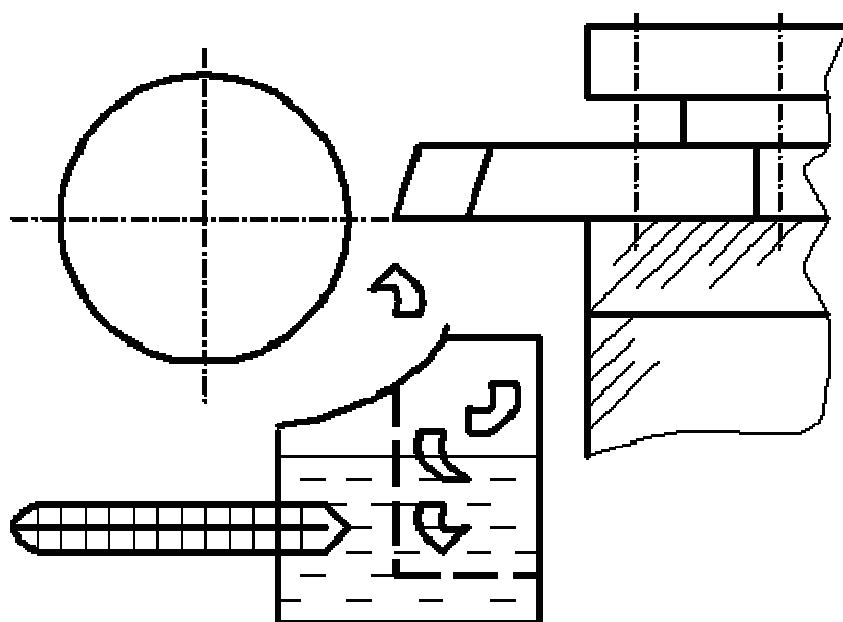


Рис.7.4. Схема измерения температуры калоритмическим методом.

Температуру поверхности инструмента за пределами зоны его контакта с обрабатываемым изделием или стружкой можно определить с помощью термочувствительных красок, которые изменяют свой цвет при нагревании до определенной температуры.

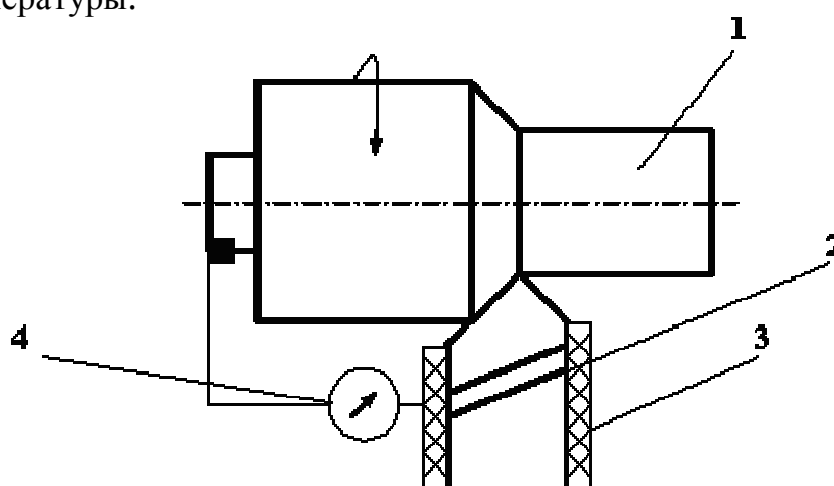


Рис.7.5 Схема измерения температуры в зоне резания методом естественной термопары, где 1- обрабатываемая заготовка, 2- резец, 3-изоляция, 4-милливольтметр.

Метод измерения температуры с помощью термопар является наиболее удобным и более широко применяется в современных исследованиях. Метод измерения естественной термопарой (Рис.7.5) наиболее прост по осуществлению, но для получения абсолютных значений температур требует проведения очень трудоемкой операции градуирования термопары «инструмент — обрабатываемый материал».

Для наблюдения за изменением температуры контактных слоев стружки при перемещении ее по длине контакта может применяться «бегущая термопара». Суть этого метода заключается в том, что в заготовку заделываются термопары, которые при перерезании их режущим лезвием инструмента образуют слой термопары, скользящий (бегущий) по передней и задней поверхностям. Схема метода представлена на рис.7.6.

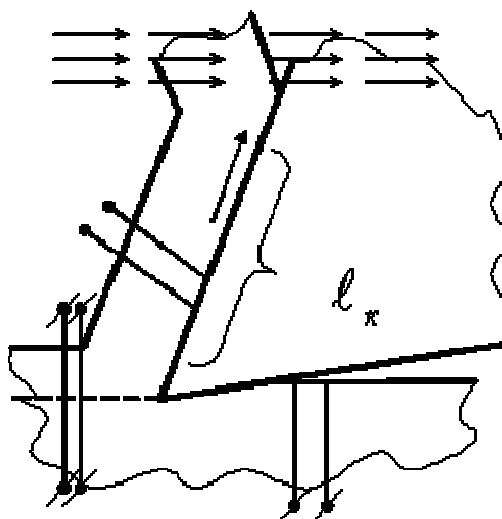


Рис.7.6.Схема измерения температуры на передней и задней поверхностях инструмента методом бегущей термопары.

Разновидностью метода естественной термопары является «метод двух резцов» (рис.7.7), который сводится к резанию одновременно двумя резцами, изготовленными из разных материалов. Этот метод позволяет исключить мучительный процесс градуирования термопары для каждого вида обрабатываемого материала; термопара градуируется один раз, и полученная градуировочная кривая используется для всех обрабатываемых материалов.

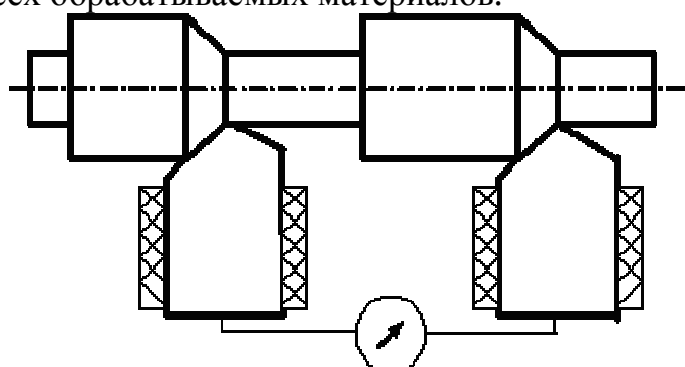


Рис.7.7. Схема измерения термопары методом «двух резцов»

7.3. Температурное поле после резца

Измерениями установлено, что теплота в зоне резания распределяется неравномерно. Наибольшая температура действует на передней поверхности при удалении от главной режущей кромки на $1/3$ длины контакта стружки с передней поверхностью. Совокупность мгновенных значений температуры в различных точках зоны резания называется температурным полем. Температурное поле дает наиболее яркую и полную картину температурной обстановки в зоне резания.

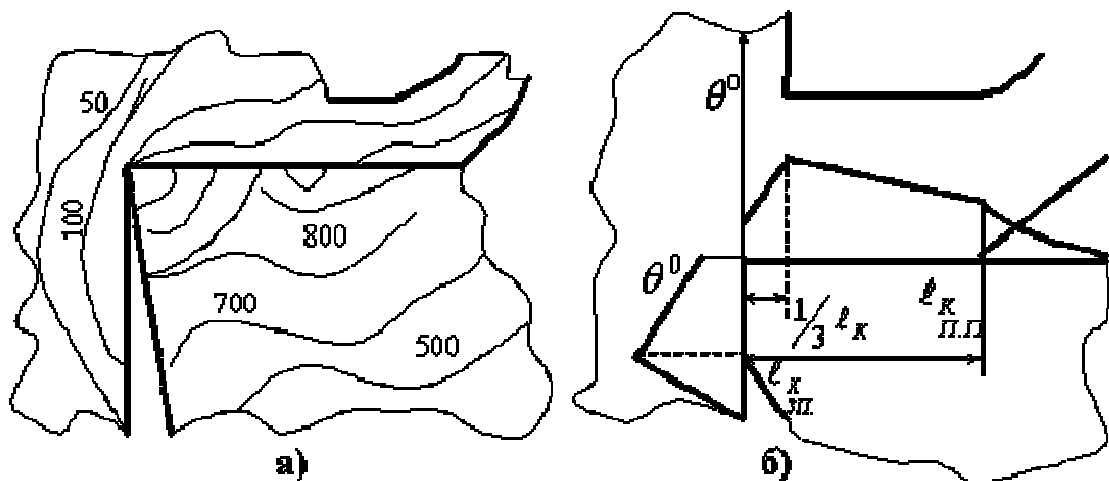


Рис.7.8 Температурное поле (а) и распределение температуры в зоне резания (б).

7.4 Зависимость температуры от элементов режима резания

Многочисленные исследования зависимости температуры от различных факторов показывают, что температура в зоне резания зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущего инструмента и многих других условий. Наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость резания, в меньшей степени влияет подача, а влияние глубины резания почти не обнаруживается. Из геометрических параметров режущей части инструмента наиболее сильно на температуру резания влияют передний угол, главный угол в плане и радиус закругления при вершине, сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок на вершине режущего лезвия инструмента.

Различными исследованиями предложен ряд аналитических и эмпирических формул для расчета температуры в зоне резания. Аналитические формулы сложны и включают в себя большое число не всегда известных величин. Эмпирические же формулы просты, но справедливы лишь в пределах условий проведения эксперимента. Структура эмпирических формул зависит от числа учтенных факторов, оказывающих какое-либо влияние на величину температуры в зоне резания. Наиболее общими являются формулы вида:

$$\theta = C_{\theta} \cdot t^{x_{\theta}} \cdot s^{y_{\theta}} \cdot v^{z_{\theta}},$$

где: θ — температура в зоне резания, $^{\circ}\text{C}$;

t — глубина резания, мм;

s — подача, $\frac{\text{мм}}{\text{мм}}$;

v — скорость резания, $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$;

C_{θ} — константа, учитывающая условия резания.

$x_{\theta}, y_{\theta}, z_{\theta}$ — показатели степени, показывающие степень влияния каждого элемента режима резания на температуру в зоне резания.

Наиболее часто величина показателей степени для каждого из элементов режима резания находится в пределах:

$$x_{\theta} = 0,1 - 0,2;$$

$$y_p = 0,2 - 0,25; z_p = 0,4 - 0,6.$$

Это показывает, что наиболее сильно на температуру в зоне резания влияет скорость резания, слабее влияет подача, а глубина резания не оказывает на нее существенного влияния. Это объясняется тем, что с увеличением глубины резания пропорционально ей увеличивается длина рабочего участка главной режущей кромки, и напряженность процесса резания не изменяется, остается прежней.

Лекция 8. Износ режущих инструментов

8.1. Общие положения

Режущий инструмент в процессе резания воздействует на обрабатываемый материал и вызывает образование стружки и формирование новой поверхности, однако сам при этом подвергается воздействию со стороны обрабатываемого материала и интенсивно изнашивается. Режущие инструменты работают в чрезвычайно тяжелых условиях действия громадных давлений на поверхностях контакта и высокой температуры, в условиях трения чистых, вновь образованных ювенильных поверхностей. По этим причинам интенсивность изнашивания режущих инструментов в тысячи и десятки тысяч раз превосходит интенсивность изнашивания трущихся деталей машин. Так, согласно результатам проведенных в Грузинском Политехническом Институте исследований износ трущихся поверхностей деталей машин, например шеек коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания, до предельно допустимой величины происходит после пути трения $10^6 - 10^8$ метров, а износ режущих инструментов до установленной нормативной величины износа, наблюдается уже после пути трения всего лишь $10^3 - 10^4$ метров. Путь трения при резании легко определяется умножением скорости резания (м/мин) на величину стойкости (мин). Так, например, при скорости резания 100 м/мин и нормативной стойкости 30 мин, путь, пройденный режущим инструментом по поверхности резания, составит:

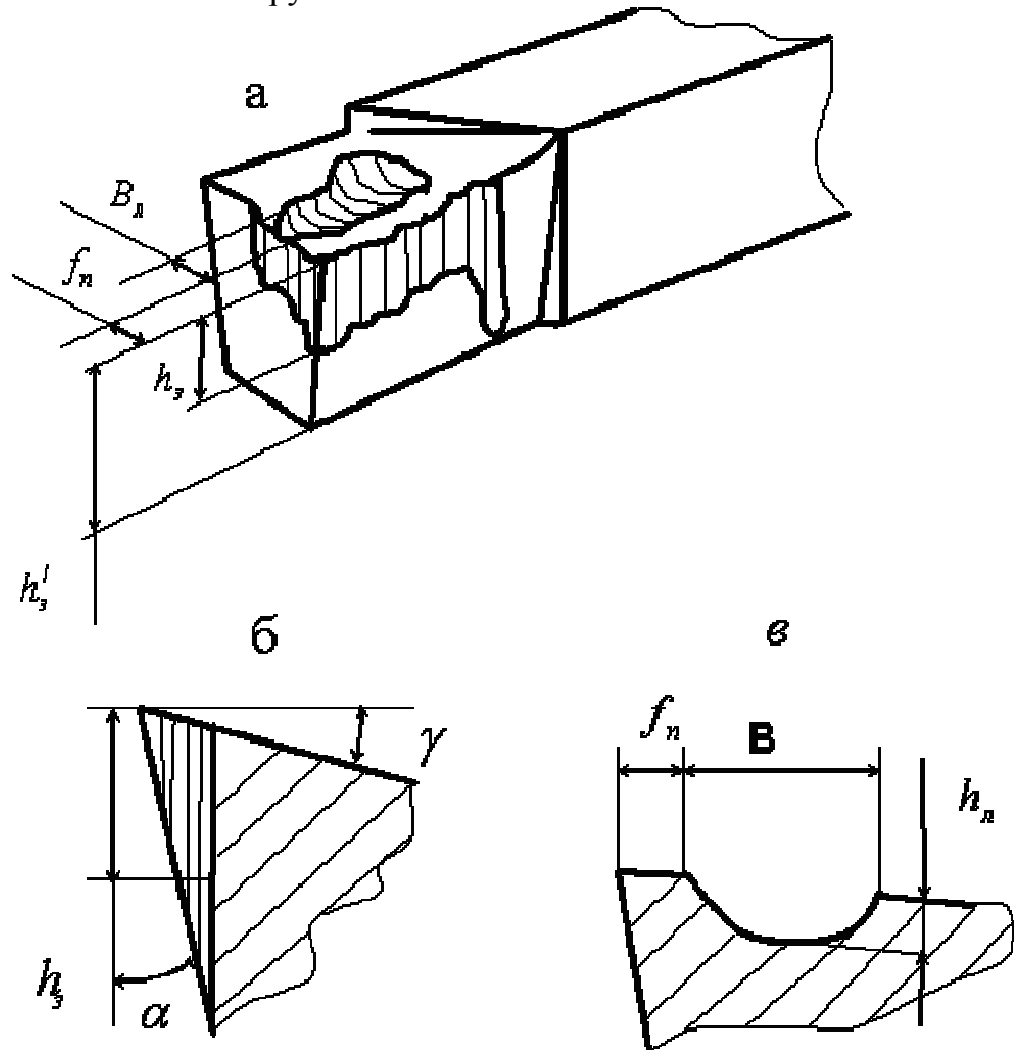
$$l_{PZ} = 100 \text{ м/мин} \cdot 30 \text{ мин} = 3000 \text{ метров} = 3 \cdot 10^3 \text{ метров},$$

что подтверждает сказанное выше сравнение интенсивности изнашивания трущихся деталей машин и режущих инструментов.

В результате изнашивания режущее лезвие инструмента теряет свою первоначальную форму и, как следствие, режущую способность. Для восстановления режущей способности инструмента производится затачивание его рабочих поверхностей. В процессе затачивания инструмента с его рабочей части срезаются довольно большие слои дорогостоящего инструментального материала. Кроме того, на смену затупившегося инструмента затрачивается время, которое увеличивает продолжительность операции механической обработки, а следовательно и ее стоимость; срезаемый при затачивании абразивным инструментом дорогостоящий инструментальный материал переводится в шлам и безвозвратно теряется. В целом все это существенно удорожает механическую обработку и ограничивает ее эффективность. Поэтому, задача уменьшения интенсивности изнашивания режущих инструментов и увеличения срока его службы была и остается одной из главных задач металлообработки.

8.2. Характер износа режущих инструментов

Характер износа режущего инструмента, то есть распределение его по рабочим поверхностям инструмента, зависит от многих конкретных условий, в которых производится резание. Износ режущего инструмента выражается в появлении лунки на передней поверхности, площадок износа на главной и вспомогательной задних поверхностях и в уменьшении вылета вершины резца или режущего лезвия иного инструмента.



- а- общий вид режущей части инструмента со следами износа;
б- износ по задней поверхности;
в- износ по передней поверхности.

Рис. 8.1 Распределение износа по поверхностям инструмента:

Износ режущего инструмента только по задней поверхности наблюдается при обработке хрупких материалов, при резании которых образуется стружка надлома, не представляющая собой сплошного прочного тела. Износ по задней поверхности является также преобладающим в случае резания с малыми толщинами среза, при малых значениях задних углов и при обработке сталей и сплавов, обладающих ярко выраженным упругим последствием и сильным обработочным упрочнением.

Износ режущего инструмента только по передней поверхности происходит в случае обработки вязких металлов с большими сечениями среза, когда образуется устойчивый нарост, исключающий контакт задней поверхности с обрабатываемым материалом. В большинстве же случаев практики резания металлов инструмент изнашивается как по передней, так и по обеим задним поверхностям (рис. 8.2 и рис.8.3).

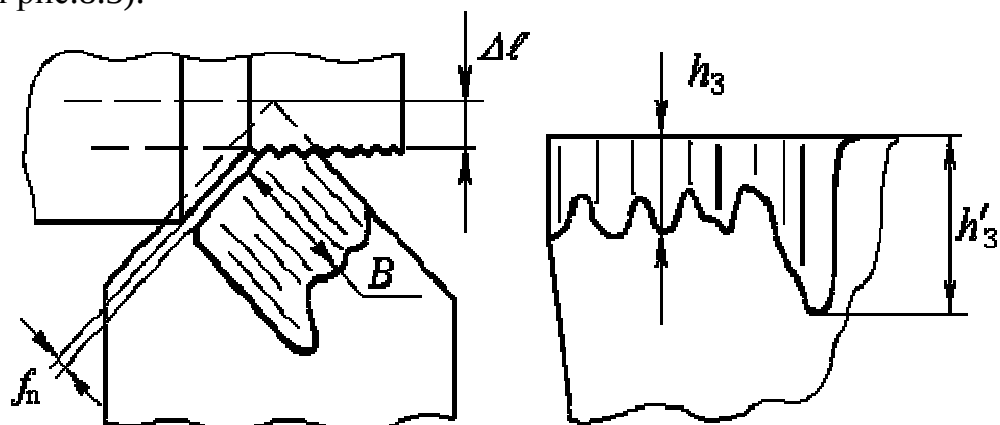


Рис. 8.2 Параметры изнашиваемого инструмента.

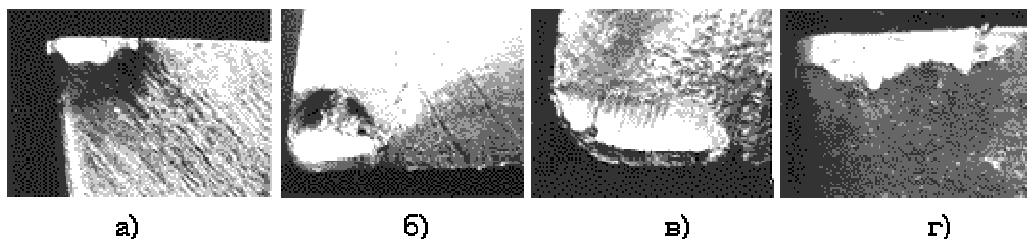


Рис.8.3. Износ резцов из быстрорежущей стали Р18 при точении стали 40Х: (а) по задней, (б) передней поверхностям; твердого сплава ВК8 при точении коррозионно-стойкой стали: (в) по задней, (г) передней поверхностям.

Изнашивание передней поверхности происходит, как правило, на некотором удалении от главной режущей кромки. Образующаяся лунка с течением времени работы резца углубляется и незначительно расширяется в сторону от режущей кромки. Износ инструмента полностью характеризуется указанными ниже параметрами.

Ширина фаски на задней поверхности h_3 , исключая период начального изнашивания, растет пропорционально времени резания. Ширина лунки B изменяется очень мало, а ширина *полки* f_n на передней поверхности уменьшается. Установлено, что работоспособность режущего инструмента в значительной мере определяется наличием полки на его передней поверхности. Разрушение ее приводит к потере режущей способности инструмента и его катастрофическому разрушению – *посадке*. На рис.8.4 показаны наиболее характерные зависимости величины износа резца из быстрорежущей стали от времени резания при точении стали 40Х

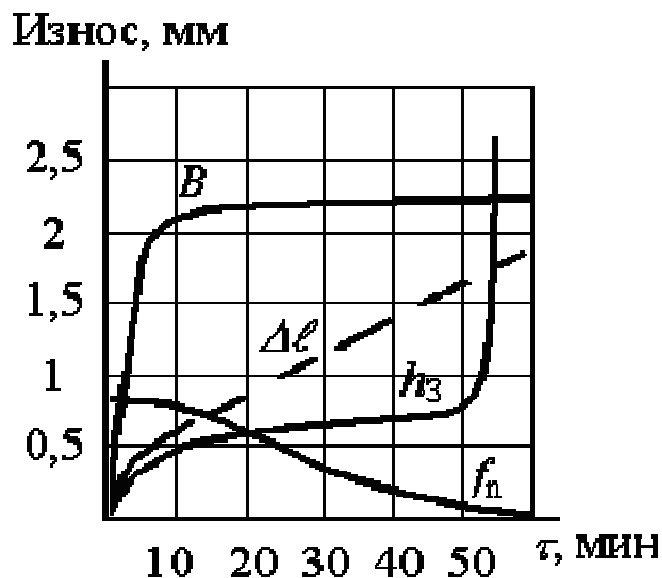


Рис.8.4 Характерные зависимости износа режущего инструмента от времени резания. Глубина резания – 1,5 мм, подача – 0,25 мм/об, скорость резания – 35 м/мин.

Критериями затупления инструмента и необходимости его переточки наряду с указанными также могут быть: ухудшение качества обработанной поверхности, образовании фаски износа на задней поверхности инструмента, появление на ней светлых полос, вибрации, увеличение потребляемой мощности и другие.

Обычно за критерий затупления принимается величина (ширина) площадки износа на задней поверхности режущего инструмента как наиболее легко обнаруживаемая и измеряемая

При выполнении различных исследований или оценке эффективности какого-либо технического мероприятия износ режущего инструмента может оцениваться в относительных единицах величиной относительного износа. Относительный износ выражается величиной износа по любому из перечисленных выше критериев, отнесенной к показателю выполненного объема работы: пройденному при заданном режиме пути резания, площади обработанной поверхности, объему или весу срезанного материала. Наиболее часто относительный износ выражают отношением величины износа по задней поверхности (h_z) к величине пройденного (L) пути резания.

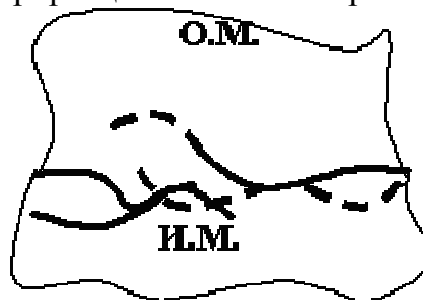
Время работы режущего инструмента до затупления по выбранному и принятому критерию называется стойкостью, или периодом стойкости, обозначаемыми прописной буквой T латинского алфавита.

8.2. Механизм изнашивания режущего инструмента

Рабочие поверхности режущего инструмента изнашиваются как от механического воздействия на него обрабатываемого материала, так и в результате молекулярно-термических процессов происходящих в зоне резания на поверхностях контакта инструмента с обрабатываемым материалом. Инструмент может подвергаться различным по своей природе, видам изнашивания: абразивному, адгезионному, химическому, диффузионному, электроэрозионному и другим. В процессе резания все эти виды изнашивания могут иметь место, но в зависимо-

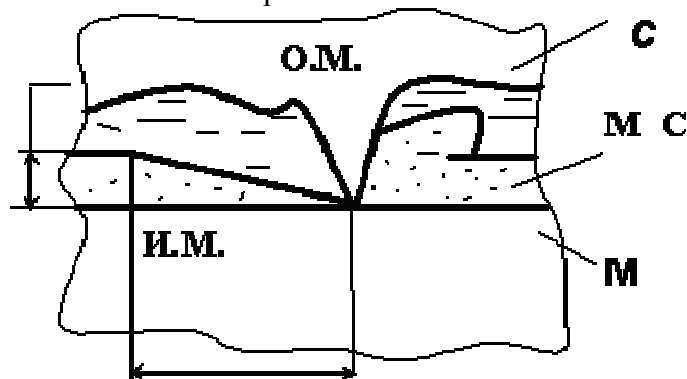
сти от конкретных условий один из них является доминирующим, определяющим интенсивность изнашивания и стойкость режущего инструмента.

Абразивное изнашивание. Происходит по причине царапания поверхностей инструмента твердыми включениями обрабатываемого материала. Твердые включения при этом как микрорезцы скоблят поверхность инструмента.



О.М.- обрабатываемый материал;
И.М. — инструментальный материал.

Рис. 8.5 Абразивное изнашивание:



М- инструментальный материал,
С- среда,
 M_xC_y — пленка химического соединения толщиной δ ,
 τ - время восстановления пленки до толщины δ .

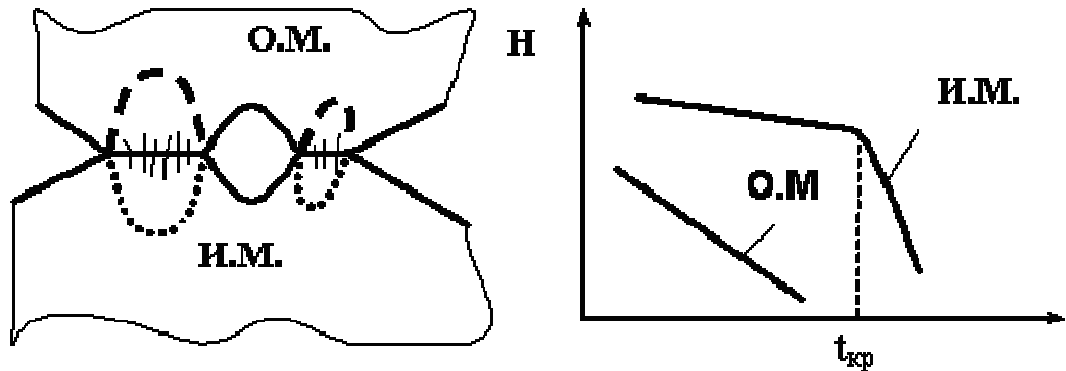
Рис. 8.6 Абразивно-химическое изнашивание

Частицы инструментального материала, вырывающиеся стружкой или частицы периодически разрушающегося нароста, обладающего твердостью, близкой к твердости инструментального материала, проволочиваясь по контактным поверхностям, уносят некоторый объем инструментального материала и оставляют следы в виде царапин. При резании твердым сплавом абразивный износ происходит путем выскабливания мягкой кобальтовой связки и механического вырывания твердых зерен карбидов.

При резании в химически активных средах возможен абразивно-химический износ в результате интенсивного образования, соскабливания и уноса образующихся мягких пленок соединений элементов среды с материалом инструмента.

Адгезионное изнашивание. Совершается путем отрыва силами адгезии мельчайших частиц инструментального материала. Поскольку при резании на поверхностях контакта действуют колоссальные давления и в контакт приходят вновь образованные ювенильные поверхности, свободные от каких-либо пленок, создаются благоприятные условия для интенсивной адгезии контактирующих материалов. При сближении их на расстояние примерно 100 ангстрем проявляются силы молекулярного взаимодействия и образуются так называемые

«мостики холодного сваривания». Разрушение может проходить как в объеме инструментального материала, так и по объему менее прочного обрабатываемого материала. В этом случае образовавшийся на поверхности инструмента налип вызывает осложнение перемещения стружки, дополнительное ее деформирование и локальное повышение температуры, которое приводит к ослаблению сил металлической связи инструментального материала.



А- мостики холодного сваривания,
 Б- зависимость твердости обрабатываемого (О.М.) и инструментального (И.М.) материалов от температуры.
 $t_{кр}$ — температура красностойкости инструментального материала

Рис. 8.7. Адгезионное изнашивание.

Приблизленно закономерность адгезионного изнашивания выражается зависимостью:

$$v \cdot T = L = \left(\frac{H_{И.М.}}{H_{О.М.}} \right)^z,$$

Где $H_{И.М.}$ — твердость инструментального материала; $H_{О.М.}$ — Твердость обрабатываемого материала; L — путь, пройденный инструментом до полного затупления в течении всего периода стойкости.

Диффузионное изнашивание. При резании на высоких скоростях, когда в зоне резания развивается температура порядка 1000°C , обрабатываемый материал сильно размягчается, а соотношение твердостей $H_{И.М.}$ и $H_{О.М.}$ становится очень большим, износ режущего инструмента, однако, не только не уменьшается, но еще больше возрастает. Дело здесь в том, что при высокой температуре становится ощутимым процесс взаимного диффузионного растворения инструментального и обрабатываемого материалов. Известно, что при комнатной температуре процесс диффузии идет неощутимо медленно, но при температурах, близких к температурам плавления, скорость процесса диффузии возрастает в миллионы раз. Поскольку при резании время контакта обрабатываемого материала с инструментальным исчисляется сотыми и тысячными долями секунды, градиент концентрации постоянно велик и диффузионный износ протекает весьма интенсивно.

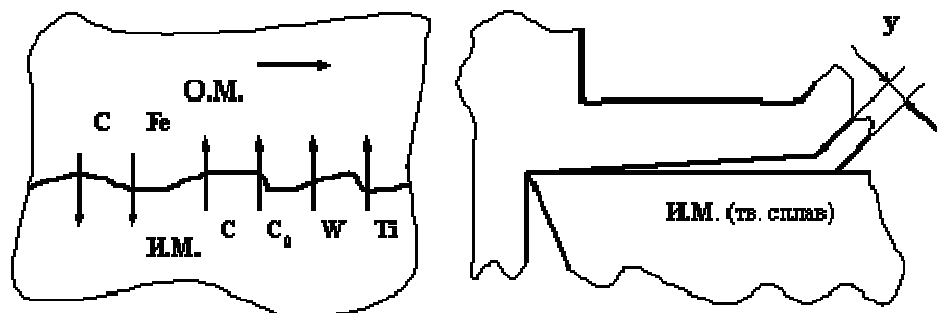


Рис. 8.8. Диффузионное изнашивание режущих инструментов. y -толщина диффузионного слоя.

Количество вещества одного компонента, выраженное в молях, продиффундировавшее в другой компонент, выражается уравнением:

$$dM = -D \frac{dC}{dx} \cdot dB \cdot d\tau,$$

где: D - коэффициент диффузии;

M – количество вещества;

dC/dx - градиент концентрации;

dB - площадь, через которую идет диффузия;

$d\tau$ - время диффузии.

$$D = A_0 \cdot e^{-\frac{Q}{RT}}$$

где: A_0 — предэкспоненциальный множитель, формально равный коэффициенту диффузии при температуре, равной бесконечности;

Q — энергия разрыхления, необходимая для ослабления связей между атомами кристаллической решетки до возможности их миграции;

R — газовая постоянная;

T - абсолютная температура.

Интенсивность диффузионного изнашивания может быть выражена толщиной диффузионного слоя, который зависит от времени и коэффициента диффузии. Зависимость эта подчиняется закону параболы:

$$y^2 = D \cdot \tau$$

где: y - толщина слоя диффузионной пленки; τ — время диффузии.

В результате диффузии в поверхностных слоях твердого сплава образуется железо-вольфрамовый карбид Fe_2W_2C , пластичная кобальтовая связка превращается в хрупкую фазу, представляющую собой двойной карбид $Co_xW_xC_x$. Охрупчивание связки твердого сплава приводит к тому, что в процессе резания наряду с диффузионным растворением происходит хрупкое разрушение материала связки и унос целых блоков зерен твердого сплава. В двухкарбидных сплавах карбиды титана, растворяясь медленнее, образуют выступы и впадины, которые заполняются материалом стружки. Время диффузии в этих условиях увеличивается, и в результате резкого уменьшения градиента концентрации, диффузия и износ уменьшаются.

Электроэрозионное изнашивание. Происходит в результате действия электрического тока, образующегося под влиянием термоэлектродвижущей силы (ТЭДС). В связи с тем, что инструмент и обрабатываемый материал контакти-

ругут в отдельных точках с разной температурой, в каждой точке действует ТЭДС разной величины. В результате в зоне резания образуется сложная система электрических цепей (контуров), при разрыве которых происходит перенос капли одного из материалов на поверхность другого в зависимости от знака заряда поверхности. При переносе капли обрабатываемого материала на поверхность инструмента она приваривается к поверхности инструмента и образует порог, который выламывается вместе с объемом инструментального материала. Кроме того твердая затвердевшая капля проволочиваясь между обрабатываемым материалом и инструментом царапает поверхность последнего и усиливает абразивное изнашивание. Такой механизм изнашивания, надо полагать, значительно усиливает изнашивание твердосплавных инструментов, работающих при больших скоростях резания, при которых в зоне резания развиваются ТЭДС до нескольких десятков милливольт, а температура находится в пределах 1000°C . Твердая частица в этом случае легко выскабливает размягченную и выдавленную на поверхность кобальтовую связку, недостаток которой ослабляет соединение твердых карбидных зерен твердого сплава. Выкрашивание их приводит к лавинообразному развитию изнашивания инструмента.

Лекция 9. Зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания и причины ее немонотонности

Многочисленными исследованиями, проведенными к настоящему времени, установлено, что зависимость стойкости от скорости резания носит экстремальный характер. При обработке разных материалов эта зависимость имеет различный вид. Наиболее типичной является зависимость с двумя максимальными значениями стойкости при разных скоростях резания. Такая зависимость показана на рис.9.1. Здесь стойкость T имеет максимальные значения при скоростях резания v_1 и v_3 .

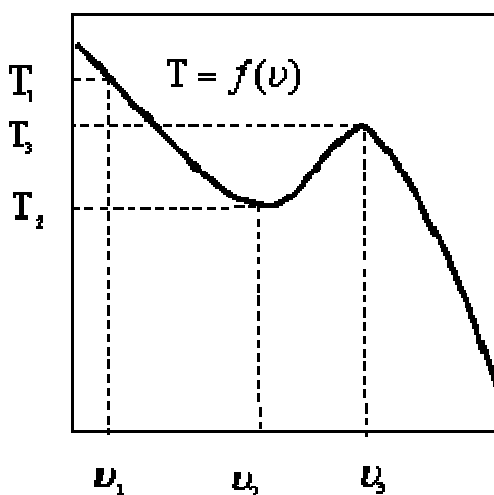


Рис. 9.1. Зависимость стойкости T режущего инструмента от скорости резания v в широком диапазоне ее изменения ($v_1 < v_2 < v_3$).

Несмотря на богатый экспериментальный опыт многочисленных стойкостных испытаний, причины такой немонотонной зависимости $T=f(v)$ оставались не вполне ясными в течение длительного времени.

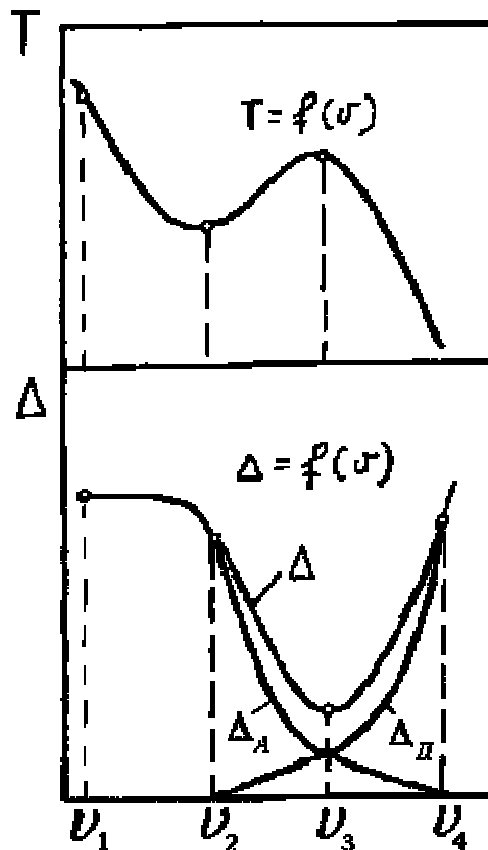
В настоящее время существование «переломов» на кривых зависимости стойкости от скорости резания объясняется изменением природы и интенсивности преобладающего вида износа. Как было отмечено выше, наиболее типичной для резания металлов является зависимость с двумя максимумами стойкости. Эти максимумы стойкости в зависимости от свойств инструментального и обрабатываемого материалов могут смещаться в сторону больших или меньших скоростей. Экстремальный характер зависимости $T-v$ обусловлен наличием адгезионного и диффузионного процессов изнашивания и изменением их интенсивности при изменении скорости и температуры резания. Только эти два вида изнашивания конкурируют между собой по интенсивности и преобладанию. Интенсивность других видов изнашивания (абразивно-механического, электроэрозионного и др.) слабо зависит от температуры и, следовательно от скорости резания. Поэтому относительный износ Δ (износ приходящийся на единицу пути резания) можно представить как сумму адгезионного Δ_A и диффузионного Δ_D изнашивания.

$$\Delta = \Delta_A + \Delta_D$$

При увеличении скорости резания от v_1 до v_2 температура в зоне резания возрастет и соотношение твердостей инструментального и обрабатываемого материалов увеличится настолько, что интенсивность адгезионного изнашивания, подчиняющегося закону:

$$v \cdot T = \left(\frac{H_{И.М.}}{H_{О.М.}} \right)^2,$$

резко снизится и относительный износ за счет этого уменьшится, и будет далее уменьшаться с ростом скорости до v_3 .



Δ - суммарный относительный износ,
 Δ_A - доля адгезионного износа,
 Δ_D - доля диффузионного износа.

Рис. 9.2. Зависимость стойкости режущего инструмента T и его относительного износа Δ от скорости резания.

Однако, начиная со скорости v_2 , начинает проявляться диффузионное изнашивание. При дальнейшем увеличении скорости резания диффузионный износ интенсифицируется и начиная со скорости v_3 становится преобладающим. Адгезионный износ уменьшается и не играет существенной роли в интенсивности суммарного износа. Суммарный износ Δ увеличивается за счет резкого увеличения интенсивности диффузионного изнашивания. Стойкость режущего инструмента при этом, естественно, уменьшается. Такой приближенной схемой описывается немонотонный характер зависимости стойкости режущего инструмента от скорости резания.

Безусловно, эта схема требует дальнейшей проработки и количественных оценок интенсивности того и другого видов изнашивания. Требуется количественное сопоставление Δ_A и Δ_D в различных диапазонах скоростей резания, но в настоящее время еще нет для этого необходимых экспериментальных данных, не хватает еще накопленной, экспериментальной подтвержденной, достоверной информации. Представленная схема в какой-то мере объясняет причины немонотонной зависимости стойкости режущего инструмента от скорости резания и определяет направление дальнейших исследований в этой области.

Лекция 10. Основой закон стойкости

Немонотонная зависимость $T-v$ наблюдается при изменении скорости резания в широком диапазоне. Однако, если учесть, что каждый инструментальный материал предназначен для работы в определенном диапазоне скоростей резания, свойственных этому материалу, то можно эту зависимость для ограниченного диапазона скоростей считать и представить монотонной.

Действительно, на скоростях, свойственных резанию быстрорежущим инструментом, твердый сплав не используется, из-за низкой эффективности, а на скоростях порядка сотен метров, свойственных резанию твердосплавным инструментом, быстрорежущие инструменты не применяются из-за недостаточной температуры красностойкости быстрорежущих сталей. На таких скоростях быстрорежущие инструменты работать не могут.

Таким образом, в ограниченном диапазоне скоростей резания зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания является монотонной, графически выражающейся прямой линией в логарифмических координатах.

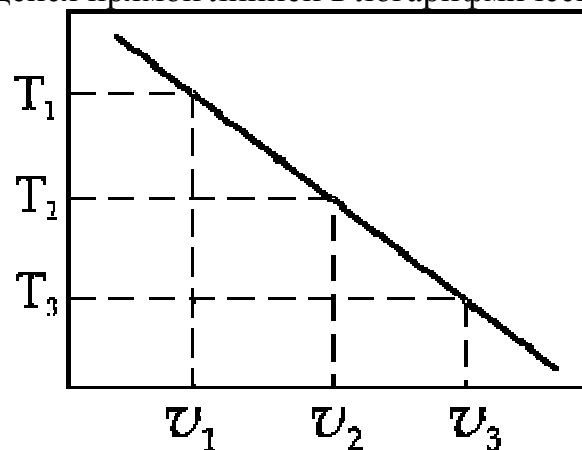


Рис.10.1. Зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания.

Такая зависимость представлена на рис.10.1. Здесь видно, что при принятых значениях скорости резания v_1, v_2, v_3 соответствующие им значения стойкости режущего инструмента будут T_1, T_2, T_3 . Эта зависимость стойкости режущего инструмента от скорости резания может быть представлена выражением

$$T_1^m v_1 = T_2^m v_2 = T_3^m v_3 = Const,$$

откуда $v = \frac{C}{T^m}$ или $T = \sqrt[m]{\frac{C}{v}}$,

где: v – скорость резания (м/мин), соответствующая стойкости режущего инструмента T ;

T – стойкость режущего инструмента, мин;

C – константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала;

m – показатель относительной стойкости.

Величина показателя относительной стойкости изменяется в узких пределах ($\approx$ от 0,15 до 0,35) в зависимости от свойств инструментального материала и вида обработки.

Представленная выше зависимость

$$v = \frac{C_v}{T^m};$$

называется основным законом стойкости. Эта зависимость является основной частью, а лучше сказать – основой, всех эмпирических формул, по которым производится расчёт скорости резания для всех видов механической обработки металлов резанием. Оптимальной скоростью резания называется скорость, которая обеспечивает максимальную производительность при наименьшей стоимости обработки.

Формулы, по которым производится расчёт этой оптимальной скорости резания для разных видов обработки резанием имеют различный вид, поскольку в них кроме основного закона стойкости входят остальные (кроме скорости резания) элементы режима резания и другие показатели, характерные для данного вида обработки. В качестве примеров ниже приведены формулы для разных видов механической обработки резанием.

Точение:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v;$$

Здесь в формулу введены глубина резания t , подача s и коэффициент K_v , учитывающий конкретные условия резания.

$$\text{Сверление: } v = \frac{C_v \cdot D_{\text{св}}^q}{T^m \cdot S_0^y} \cdot K_v;$$

$$\text{Фрезерование: } v = \frac{C_v \cdot D_{\text{ф}}^q}{T^m \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z^r} \cdot K_v;$$

В формулу для расчёта скорости резки при фрезеровании введены диаметр фрезы $D_{\text{фр}}$, подача на зуб s_z , ширина фрезерования B и число зубьев фрезы z .

Посмотрите внимательно на эти формулы, и вы увидите, что основой всех этих различных по внешнему виду формул является основной закон стойкости, с него начинается написание всех формул, по которым рассчитываются величины оптимальной скорости резания для всех видов механической обработки, всех видов резания металлов.

Лекция 11. Роль внешней среды при резании металлов

11.1. Действия внешних сред в зоне резания

Напряженность процесса резания, интенсивность изнашивания режущего инструмента и качество обработанной поверхности зависят от свойств той внешней среды, в которой осуществляется резание. Окружающий зону резания атмосферный воздух является активной естественной внешней средой, благотворно влияющей на процесс резания. Кислород воздуха активно участвует в образовании пленок оксидов на поверхностях инструмента и обрабатываемого материала. Эти пленки экранируют силы молекулярного взаимодействия и предотвращают адгезионное схватывание и образование мостиков холодного сваривания инструментального и обрабатываемого материалов. Резание в вакууме, без кислорода, практически невозможно, вместо образования привычного вида

стружки происходит комкование срезаемого слоя металла на передней поверхности инструмента; резание происходит неустойчиво с большими колебаниями силы резания, рывками и грубой вибрацией. Для улучшения трибологической обстановки в зоне резания применяют искусственные технологические среды. Направленное изменение свойств этих сред является одним из путей управления процессом резания и изнашивания режущих инструментов. Искусственно вводимые в зону резания среды могут быть жидкими, твердыми или газообразными.

Наиболее часто в качестве внешних сред, благотворно влияющих на процесс резания и изнашивания режущих инструментов, издавна применяются различные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Первые исследования влияния смазочно-охлаждающих жидкостей на процесс резания и качество обрабатываемой поверхности проведены в нашей стране в начале 20-го века. По своему составу и виду основы смазочно-охлаждающие жидкости подразделяются на три группы: масляные жидкости, водные эмульсии минеральных масел и синтетические жидкости.

Масляные СОЖ представляют собой минеральные масла, в которые добавлены антифрикционные, антиадгезионные, противозадирные и другие присадки и ингибиторы коррозии. Активными (режущими) присадками служат масла и жиры растительного и животного происхождения и вещества, содержащие фосфор, хлор, серу. Общий объем присадок в масляных СОЖ может достигать до 40%.

Водные эмульсии минеральных масел приготавливаются из воды и эмульсолов. Содержание эмульсола в воде обычно бывает от 2 до 10%, в зависимости от вида выполняемой операции и напряженности режима резания. В состав эмульсолов входят: минеральное масло, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, бактерицидные, антиизносные, антипенные и другие присадки. При смешивании эмульсола с водой образуется непрозрачная эмульсия молочно-белого цвета.

Синтетические СОЖ представляют собой водные растворы водорастворимых полимеров, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и ингибиторов коррозии.

Смазочно-охлаждающие жидкости, подаваемые в зону резания, оказывают смазочное, охлаждающее и моющее действия. Роль и значение каждого из этих действий зависят от вида операции механической обработки и свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

Моющее действие СОЖ заключается в образовании на мелких частицах стружки, нароста и продуктах износа адсорбционных пленок, препятствующих их слипанию. В результате частицы легко уносятся струей СОЖ, что приводит к уменьшению абразивного износа режущего инструмента. Охлаждающее действие СОЖ проявляется, как в поглощении уже выделившейся теплоты, так и в устранении или уменьшении причин ее выделения. Уменьшение температуры в зоне резания и охлаждение режущего инструмента способствуют сохранению режущих свойств инструмента и износостойкости инструментального материала.

Смазочное действие СОЖ заключается в образовании на трущихся поверхностях различных по своей физико-химической природе пленок, уменьшающих

силы трения и износ контактирующих поверхностей путем предотвращения или ограничения явлений адгезии и схватывания обрабатываемого материала с материалом режущего инструмента.

В настоящее время мнение большинства исследователей склоняется к тому, что смазочное действие СОЖ является их основным и наиболее значимым действием во всем возможном диапазоне скоростей и температуры резания.

Работами академика П.А. Ребиндера и его школы установлено, что совместно с внешесмазочным действием адсорбционных пленок смазочно-охлаждающие жидкости в определенных условиях могут оказывать “внутреннее смазочное действие”. Поверхностно-активные вещества, входящие в состав смазочно-охлаждающих жидкостей, проникают в зону деформации по плоскостям скольжения в отдельных зернах обрабатываемого металла и тем самым облегчают процесс пластической деформации срезаемого слоя. Продукты распада адсорбированных поверхностно-активных веществ внедряются в кристаллическую решетку наиболее деформированных зерен металла, переводя его в более хрупкое состояние. Такое охрупчивание приводит к уменьшению величины предельной пластической деформации срезаемого слоя перед разрушением и уменьшению работы резания.

11.2. Проникновение внешней среды на поверхности контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом.

Проявление благотворного влияния технологических сред на процесс резания и изнашивания режущего инструмента возможно лишь при условии проникновения их на поверхности контакта



Рис.11.1. Микрофотография корня стружки скалывания, полученного при точении стали 12Х18Н10Т.

режущего инструмента с обрабатываемым материалом. При низких скоростях резания контакт режущего инструмента и обрабатываемого материала не сплошной и вся зона его испещрена мельчайшими порами – капиллярами размером от долей микрометра до нескольких их десятков. Периодическое торможение и остановка отдельных объемов срезаемого слоя металла на поверхности инструмента вызывают образование вакуумных полостей, способствующих проникновению смазочной жидкости или иной технологической среды в зону резания и образованию смазочных слоев на поверхностях контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом. Сказанное иллюстрируется микрофотографией корня стружки на рис.11.1., полученной при точении коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т резцом из быстрорежущей стали Р18. Посмотрите на эту уже знакомую вам фотографию с новой позиции оценки возможности проникновения среды в зону резания и на поверхности контакта инструмента с обрабатываемым материалом. Здесь видно, что отдельные элементы типичной стружки скалывания разделены между собой капиллярами, насквозь пронизывающими стружку на всю ее толщину, с прирезцовой стороны стружки рядом с каждым



Рис.11.2. Микрофотография сливной стружки стали 12Х18Н10Т.

элементом видны вакуумные полости, ширина которых составляет примерно третью – четвертую часть ширины основания элемента стружки. При образовании сливной стружки отдельные элементы ее слабо различимы, но капилляры в ней видны достаточно четко, например, на фотографии рис.11.2. Вакуумные полости образуются также в результате частичного разрушения нароста.



Рис.11.3. Корень стружки с наростом.

Справа от основания нароста видна часть вершины нароста. Между основанием нароста, в передней его части, и обрабатываемым материалом образовалась вакуумная полость.

На рис.11.3. и 11.4. представлены микрофотографии корней стружки с наростом. Здесь видны вакуумные полости, образовавшиеся при отрыве или разрушении части вершины нароста сходящей по нему стружкой. Представленные фотографии убедительно показывают, наличие капилляров и полостей, которые образуются в процессе резания и, естественно, заполняются окружающей зону резания технологической средой. Среда таким путем поступает на поверхность контакта инструмента с обрабатываемым материалом.

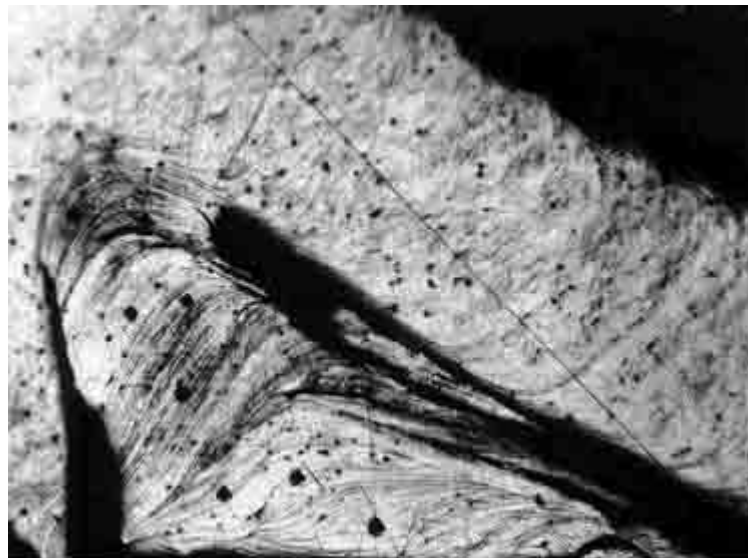


Рис.11.4. Нарост с разрушенной вершиной.

Кроме того, при резании металлов низкочастотные колебания заготовки не совпадают по фазе с высокочастотными колебаниями инструмента, в результате чего поверхность контакта его с обрабатываемым материалом периодически становится открытой для проникновения внешней среды на поверхности контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом. Это предположение поясняется схемой на рис.11.5. Согласно этой схеме в какой-то текущий момент, например, τ_1 заготовка 1 и инструмент 2 в своих колебаниях движутся навстречу друг другу, их контакт уплотняется, при этом условия проникновения внешней среды ухудшаются. Однако, в какой-то следующий момент τ_2 заготовка и инструмент идут в разные стороны, а в момент τ_3 они перемещаются в одну сторону, но с разными скоростями. Эти примеры показывают, что в разные моменты времени плотность контакта инструмента с обрабатываемым материалом различна и достаточно велика вероятность полного нарушения контакта и образования открытых каналов для проникновения в них окружающей среды и образования смазочных слоев.

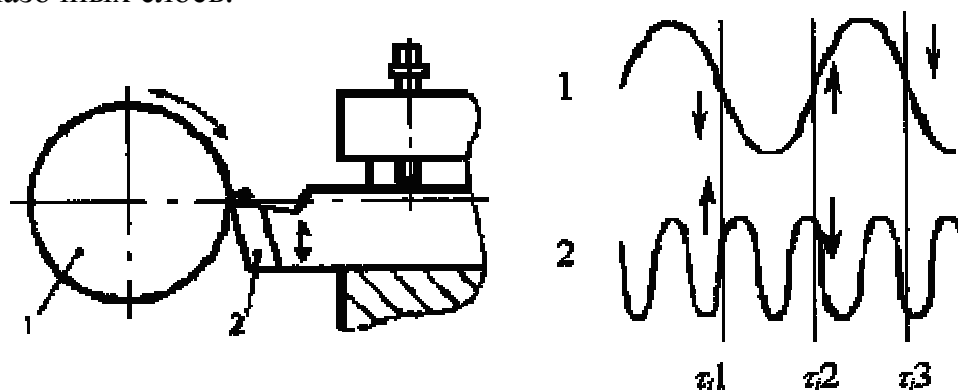


Рис.11. 5. Схема колебательных движений заготовки 1 и режущего инструмента 2 в процессе резания.

Хотя механизм проникновения технологических сред в зону резания до настоящего времени остается предметом обсуждения, установленным является тот факт, что СОЖ и другие среды, несмотря на громадные давления, проникают на поверхности контакта и существенно влияют на процесс резания и изнашивания

режущего инструмента, Поскольку температура в зоне резания почти всегда выше 100 °С, жидкость попадает на поверхности контакта не в обычном своем агрегатном состоянии, а в виде паров и отдельных частиц – молекул, их радикалов или ионов.

Путем применения СОЖ можно существенно повысить экономичность механической обработки. В некоторых случаях применение эффективной технологической среды является единственным техническим средством, обеспечивающим возможность нормального резания. Решение вопросов применения СОЖ и других сред при резании металлов осуществляется двумя путями: синтезированием эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей и разработкой новых способов подачи их в зону резания, путем создания новых технологических сред.

Эффективность какой-либо технологической среды может оцениваться коэффициентом увеличения стойкости инструмента K_T , представляющим собой отношение стойкости режущего инструмента $T_{Т.С.}$, при применении какой-то технологической среды или выбранного какого-то способа ее подачи, к стойкости режущего инструмента на той же технологической операции и при том же режиме резания, в среде атмосферного воздуха $T_{возд.}$

$$K_T = \frac{T_{Т.С.}}{T_{возд.}}$$

Здесь видно, что чем эффективнее среда или метод ее подачи, тем больше значение этого коэффициента.

Применение СОЖ обычно обеспечивает увеличение стойкости режущего инструмента в 1,5 – 2,0 раза. Соответственно этому и коэффициент увеличения стойкости имеет значения $K_T = 1,5 – 2,0$ в зависимости от химического состава, смазочно-охлаждающей жидкости и способа ее подачи в зону резания.

Лекция 12. Способы и техника применения технологических сред при резании металлов

Смазочно-охлаждающие жидкости и другие средства могут подаваться в зону резания различными способами, различными устройствами в разном своем агрегатном состоянии: твердого тела, жидкости или газа.

12.1. Подача смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания поливом свободно падающей струей.

В практике машиностроения наиболее часто СОЖ подается в зону резания поливом в виде свободно падающей струи. На рис.12.1. представлен пример практической реализации схемы подачи СОЖ на токарном станке (вид сзади)

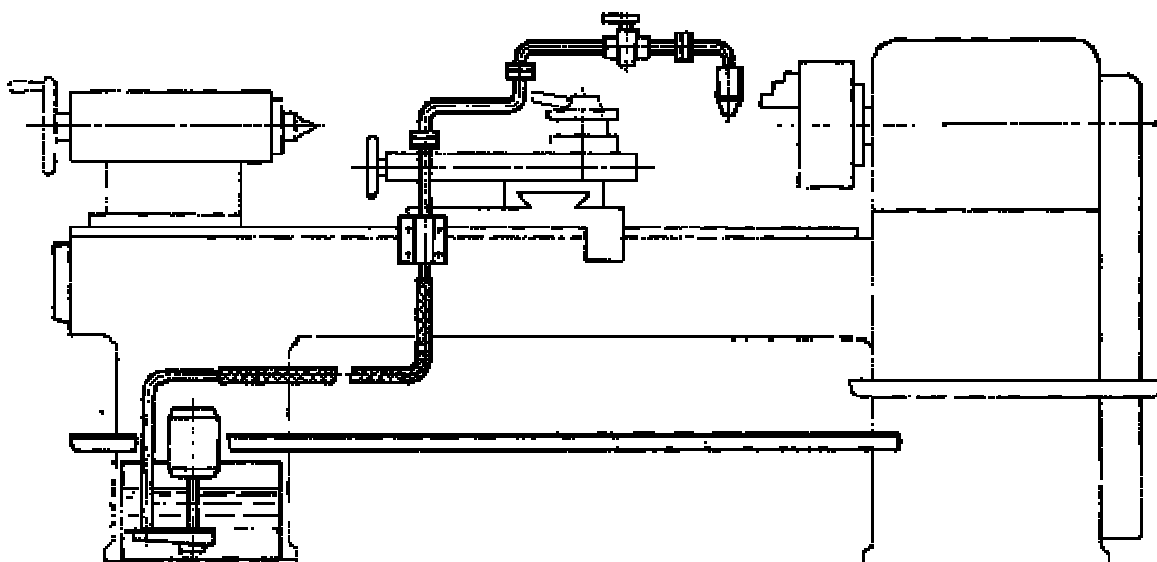


Рис.12.1 Система подачи СОЖ на токарном станке.

Смазочно-охлаждающая жидкость из емкости в левой тумбе станка насосом через гибкий шланг подается в трубопровод с пробковым краном и сопловым насадком. Из сплового насадка СОЖ подается свободно падающей струей на режущий инструмент и обрабатываемую деталь.

Количество подаваемой в зону резания СОЖ регулируется с помощью пробкового крана. И использованная СОЖ стекает в корыто и сливается в емкость, к насосу. Давление жидкости в магистрали ее подачи должно быть достаточным для подъема жидкости до уровня положения соплового насадка. Обычно оно находится в пределах от 0,02 до 0,05 МПа и обеспечивается насосом. Количество подаваемой в зону резания СОЖ зависит от вида ее основы (водная или масляная), вида выполняемой операции и напряженности режима резания. На универсальных станках весом до 10 т жидкость подается в количестве от 2 до 20 л/мин. В некоторых случаях механической обработки (на многошпиндельных автоматах, зубообрабатывающих станках и других) поток СОЖ используется одновременно и для уноса стружки. Количество СОЖ для этих случаев рассчитывается по опытно-статистическим формулам.

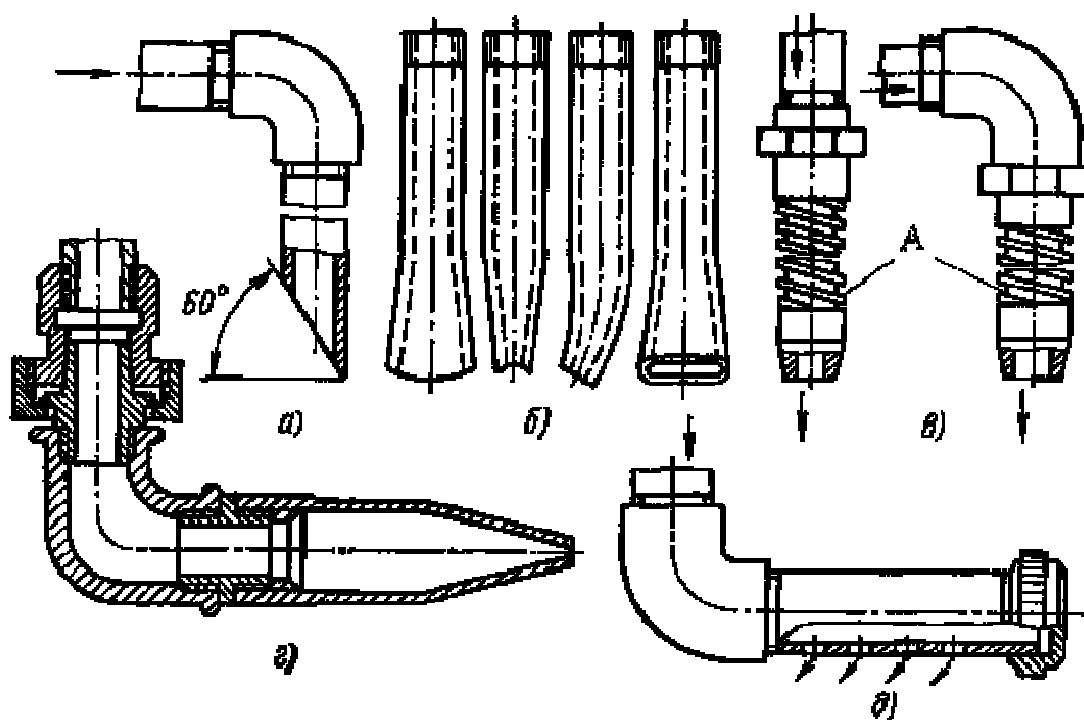


Рис.12.2. Сопловые насадки для подачи СОЖ поливом.

На разных технологических операциях в зависимости от вида, размеров и конструкции используемого инструмента и желаемой ширины охвата зоны резания струей СОЖ применяются сопловые насадки различного вида. Особенности их конструкций показаны на рис.12.2. Сопловые насадки системы подачи СОЖ на токарных станках представляют собой металлическую трубку с конусным концом на выходе для формирования струи СОЖ и уменьшения ее разбрызгивания. Насадки для сверлильных станков (рис.12.2.а) имеют обращенный в сторону режущего инструмента косой срез, обеспечивающий подачу СОЖ на инструмент вдоль его оси. Насадки для фрезерных и зубообрабатывающих станков (рис.12.2.б и г) обеспечивают подачу СОЖ плоской широкой струей. При многошпиндельной обработке применяются сопловые насадки (рис.12.2.в) с гибкой частью “А” позволяющей изменять положение насадка и направление струи СОЖ относительно режущего инструмента. Для подачи СОЖ в зону обработки шириной более 100 мм применяются сопловые насадки (рис.12.2.д) в виде трубки с расположенными на одной линии боковыми отверстиями диаметром 5...6 мм.

При необходимости более интенсивного охлаждения режущих инструментов применяется их внутреннее охлаждение, заключающееся в пропускании СОЖ по внутренним каналам в теле инструмента. Наиболее часто внутреннее охлаждение применяется в осевых инструментах типа сверл, зенкеров, разверток, протяжек, метчиков и иных подобных инструментах, но может применяться и в любых других инструментах. На рис.12.3. показаны резцы с

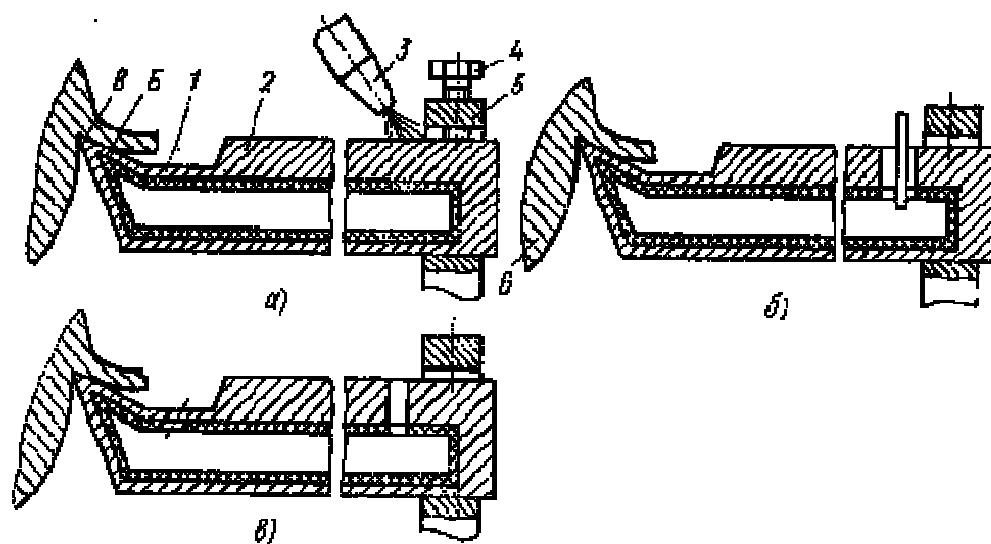


Рис.12.3. Резцы с внутренним охлаждением.

внутренним охлаждением. В теле 1 резца имеется полость, поверхность которой покрыта пористым материалом (рис.12.3.а), смоченным охлаждающей жидкостью. При резании жидкость в режущей части резца испаряется и конденсируется в “холодной” зажимной части резца. По пористому материалу 2 она вновь поступает к режущей части. Резцы могут иметь замкнутую (рис.12.3. б) и проточную (рис.12.3.в) полости.

12.2. Способы активации СОЖ.

Эффективность действия СОЖ зависит от их химического состава, путем изменения которого можно регулировать взаимодействие СОЖ с инструментальным и обрабатываемым материалами. К настоящему времени наработано множество составов СОЖ, эффективно действующих при резании различных групп металлов и материалов. Другим путем повышения эффективности действия подаваемых поливом СОЖ является их активация внешними энергетическими воздействиями.

Механическая активация может осуществляться путем интенсивного перемешивания СОЖ в течении установленного времени или путем пропускания ее через ультразвуковой активатор.

Термическая активация заключается в нагревании жидкости до температуры близкой к температуре ее кипения, в результате которого уменьшается вязкость жидкости и увеличивается ее проникающая и реакционная способность. Недостатком этого способа является необходимость нагревания СОЖ в ходе выполнения технологической операции, непосредственно на рабочем месте, что требует повышенных мер предосторожности и ухудшает санитарно-гигиенические условия работы оператора.

Облучение СОЖ ультрафиолетовыми лучами производится под ртутно-кварцевыми лампами, в тонком слое жидкости, стекающей по лотку. В результате облучения СОЖ улучшаются ее смачивающие свойства, усиливается ее способность к образованию прочных смазочных слоев на поверхностях трения.

Магнитная активация происходит при протекании СОЖ через магнитное поле постоянных магнитов или электромагнитов. Такому виду активации подвергаются жидкости на водной основе.

Электрохимическая активация гальваническими элементами осуществляется с помощью специального соплового насадка, устанавливаемого на выходе СОЖ из системы ее подачи. Насадок представляет собой трубку с установленными в ней перфорированными дисками из разнородных металлов. Такому виду активации могут подвергаться жидкости на водной основе, обладающие свойствами электролита. Способ не требует подвода электроэнергии и изменения системы подачи СОЖ. Насадок прост по своему устройству и легко устанавливается на станке. Активация СОЖ происходит в результате образования в ней перекиси водорода под влиянием электролитического выделения кислорода из воды и насыщения ее ионами металла анода.

Пропускание электрического тока через жидкость приводит к ее нагреванию и термической активации, насыщению ее кислородом и ионами металла анода. Производится в сопловом насадке с одной или несколькими парами электродов.

12.3. Нетрадиционные способы подачи СОЖ в зону резания и новые технологические среды.

Способ подачи СОЖ поливом свободно падающей струей прост и удобен, привычен и традиционно широко применяется при обработке материалов на металлорежущих станках. Однако, в практике машиностроительного производства есть много случаев где применение СОЖ поливом неудобно или недостаточно эффективно и обработка резанием ведется “всухую”. Так, например, полив СОЖ не применяется на тяжелых продольно-строгальных, карусельных, продольно-фрезерных и других станках из-за вымывания смазки с их направляющих. При обработке по разметке полив не применяется, так как струя СОЖ закрывает разметку. При обработке чугуновых заготовок образующаяся стружка сильно загрязняет рабочее место и слеживаясь затрудняет ее уборку. Анализ работы машиностроительных предприятий показывает, что число операций, где резание ведется “всухую”, в массовом производстве составляет 10...30%, в серийном производстве 30...40%, в индивидуальном – 40...60%, а на предприятиях тяжелого машиностроения – до 90% от общего числа операций механической обработки. Поиски путей повышения эффективности механической обработки привели к разработке новых более эффективных или удобных способов подачи СОЖ и новых технологических сред.

В 1952 году предложена *подача СОЖ в виде пены*, которая образуется в результате продувания объема СОЖ сжатым воздухом и подается в зону обработки тем же путем, что и жидкость при ее поливе. Пена действует в зоне резания менее эффективно, чем струя СОЖ, коэффициент повышения стойкости находится в пределах 1,2 – 1,5. Пена не растекается так свободно по поверхностям обрабатываемой заготовки и деталей станка, не разбрызгивается и потому меньше загрязняет рабочее место. Этот метод рекомендуется применять при обработке несимметричных деталей, выступающие части которых отбрасывают или сбивают подаваемую поливом струю СОЖ, или в других случаях, где при-

менение более эффективных способов подачи СОЖ неудобно или невозможно по каким-либо причинам.

В начале 50-х годов разработан и исследован способ *охлаждения и смазки зоны резания высоконапорной струей жидкости*. При этом способе СОЖ подается в зону резания со стороны задней поверхности резца в виде тонкой струи под давлением 20 – 30 атмосфер. Первые работы по исследованию эффективности этого метода показали, что он позволяет многократно повысить стойкость режущего инструмента по сравнению с резанием при поливе СОЖ. Дальнейшие исследования этого метода были посвящены изучению влияния скорости истечения струи, расхода жидкости, ее температуры и других параметров, на стойкость режущего инструмента. Были установлены зависимости скорости струи, расхода жидкости и стойкости режущего инструмента от диаметра отверстия сопла и давления в подводящей системе. Метод охлаждения высоконапорной струей СОЖ оказывается особенно эффективным при резании трудно обрабатываемых материалов и сплавов. Так, стойкостные испытания показали, что при прерывистом точении сплава ЭИ437 стойкость быстрорежущих резцов при подаче в зону резания высоконапорной струи СОЖ увеличивается более чем в 6 раз по сравнению с резанием при поливе СОЖ; аналогичные результаты были получены при прерывистом точении сплава ЭИ766. Метод охлаждения и смазки высоконапорной струей жидкости является весьма эффективным, достаточно изученным и разработанным методом, однако он до настоящего времени не получил широкого применения в промышленности из-за весьма серьезных присущих ему недостатков. Одной из причин, сдерживающих применение метода, является сильное разбрызгивание упругой и опасной струи жидкости, выходящей из сопла под большим давлением со скоростью 50 – 80 м/с. Другой причиной является трудность обеспечения герметичности подвижных соединений магистралей для подвода жидкости, работающих под давлением 20 – 30 атмосфер. По этим причинам метод применяется в настоящее время только при обработке трудно обрабатываемых материалов и в других случаях, где крайне необходимо повышение стойкости инструмента любыми техническими средствами.

Менее эффективным по сравнению с высоконапорным струйным методом охлаждения, но более удобным, технологичным и перспективным является способ *охлаждения и смазки зоны резания распыленной жидкостью*. Он был впервые предложен в 1944 году новосибирским инженером Г.И. Покровским. В своей статье автор, отметил, что этот способ "... несомненно, заслуживает большого внимания". Однако, в то трудное военное время методу не было уделено должного внимания и только лишь спустя десятилетие он был вновь изучен, разработан и взят в арсенал средств повышения эффективности резания металлов.

Сущность метода охлаждения и смазки распыленной жидкостью заключается в том, что СОЖ распыливается в специальном распыливающем устройстве сжатым воздухом и подается в зону резания в виде воздушно-жидкостной смеси. Для образования воздушно-жидкостной смеси используются специальные распылительные установки разных конструкций.

Наиболее удачной и работоспособной оказалась установка типа УР-3 (рис.12.4.) с двойным смешиванием жидкости с воздухом, предназначенная для

распыливания смазочно-охлаждающих жидкостей на водной основе. Сжатый воздух из заводской сети, пройдя пробковый кран или вентиль, поступает через фильтр 1 в редукционный клапан 2, предназначенный для снижения давления воздуха и поддержания его на постоянном уровне во время работы.

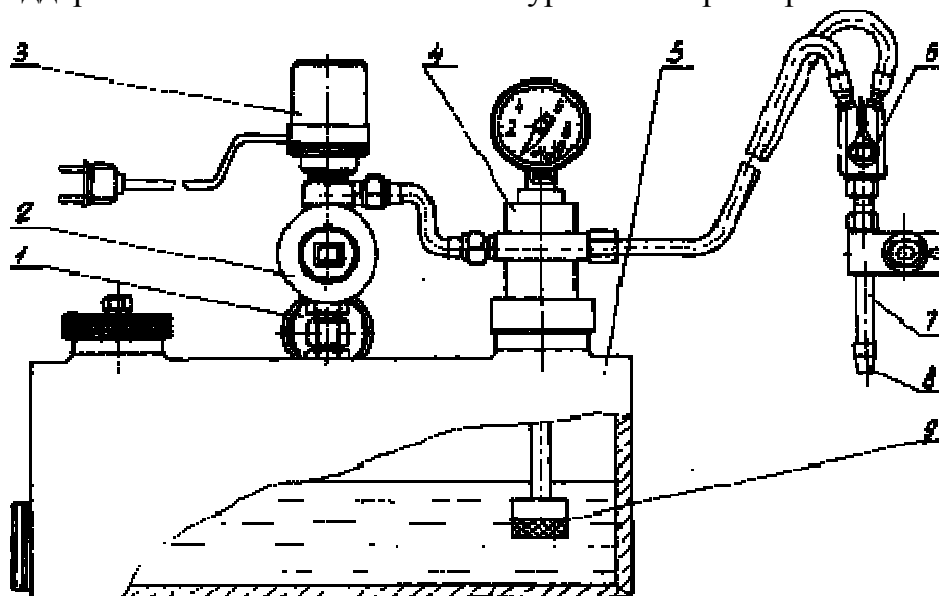


Рис.12.4. Установка УР-3 с двойным смешиванием жидкости с воздухом.

Из редукционного клапана 2 сжатый воздух через электромагнитный клапан 3 направляется в распределитель (первичный смеситель) 4. В распределителе образуется богатая жидкостью смесь ее с воздухом. Эта смесь подается во вторичный смеситель 6, где смешивается с сухим воздухом и далее по трубке 7 через сопло 8 направляется в зону резания. Воздухо-жидкостная смесь выходит из сопла с высокой скоростью. Движение воздухо-жидкостной смеси относительно охлаждаемых поверхностей с такой большой скоростью интенсифицирует теплообменные процессы в зоне резания. Более сильному теплообмену способствует также и то, что температура воздухо-жидкостной смеси при выходе ее из сопла понижается до 4—10 °С. Поскольку смазочное действие СОЖ осуществляется путем проникновения на поверхности трения мельчайших частиц и паров жидкости, распыливание СОЖ делает ее более подготовленной к проявлению этого действия. При распыливании расходуется небольшое количество СОЖ (около 300 г/час), жидкость не разбрызгивается и не требует устройств для ее сбора, а зона резания остается всегда открытой для наблюдения.

Распыленные жидкости действуют в зоне резания более эффективно, чем подаваемая поливом жидкость благодаря подаче в зону резания кислорода сжатого воздуха и электризации капель распыленной жидкости. Описанные распылительные установки автоматизированы. Автоматизация заключается в применении на этих установках устройств, автоматически включающих подачу в зону резания распыленной жидкости во время рабочего хода станка и прекращающих подачу ее с прекращением работы станка.

Целесообразность такой автоматизации заключается в следующем.

Исключается расход сжатого воздуха в период, когда не производится резание.

1. Оснащение станков автоматизированными установками не вызывает дополнительных затрат времени на их обслуживание, в частности, на включение и выключение подачи распыленной жидкости во время холостых ходов, промеров, подвода инструмента, смены деталей и выполнения других рабочих приемов. Кроме того, оснащение станков автоматизированными установками не увеличивает психологическую нагрузку на рабочего.

2. Известно, что недостатком метода является шум, создаваемый воздушной струей, который особенно заметен, когда станок не работает. Автоматическое выключение установки в момент останова станка в известной мере устраняет этот недостаток. При одновременном начале работы станка и установки шум от работы установки становится менее заметным.

3. Предполагая применение охлаждения и смазки зоны резания распыленными жидкостями на автоматах и полуавтоматах, вопрос автоматизации работы установок встает еще более остро, так как немыслимо представить оснащение автоматических станков устройствами, требующими ручного обслуживания.

Распыленные жидкости могут быть успешно применены на большинстве технологических операций, где полив в силу присущих ему недостатков не применяется и обработка производится всухую. Метод охлаждения и смазки распыленной жидкостью следует рассматривать как дополнение к существующим методам, как средство, расширяющее возможности применения смазочно-охлаждающих жидкостей, позволяющее значительно сократить число технологических операций, выполняющихся всухую.

Особую группу представляют способы подачи СОЖ при шлифовании. При шлифовальных работах весьма эффективными оказываются способы подачи СОЖ через поры абразивного круга, поэтапным и гидроаэродинамическим способами, путем применения СОЖ в замороженном состоянии в виде твердых брусков льда, прижимаемых собственным весом к обрабатываемой поверхности заготовки. Прижимающаяся к заготовке поверхность бруска замороженной СОЖ подтаивает и образует пленку жидкости, которая и обеспечивает смазочно-охлаждающее действие в зоне резания.

Поиски путей повышения эффективности действия внешних сред привели к созданию новых, на первый взгляд совершенно неожиданных, и крайне противоположных технических решений, как, например, резание в среде расплавленного металла и с применением замороженных СОЖ., в среде холодных охлаждающих газов и в среде СОЖ, нагретых до парообразного состояния.

В связи с тем, что некоторые эффективные компоненты жидкости, типа четыреххлористого углерода, под действием высокой температуры образуют газообразные вещества вредные или опасные для здоровья человека, было предложено подавать их в зону резания в капсулированном виде. Позднее этот способ был усовершенствован путем введения в оболочку капсул магнетита и придания им за счет этого свойства магнитовосприимчивости, обеспечивающего миграцию микрокапсул в зону резания под действием естественного магнитного поля. Капсулы могут содержать в себе минеральное масло, активные присадки или активные газы.

Новые способы подачи СОЖ привели к образованию новых технологических сред, которые полностью охватывают зону резания и изолируют ее от окружающего атмосферного воздуха. Резание при этом ведется в **новой** технологической среде.

Лекция 13. Виды обработки резанием

Согласно действующему в нашей стране стандарту (ГОСТ 25761—83) все виды механической обработки металлов и материалов резанием подразделяются на лезвийную и абразивную обработку. К лезвийной обработке относятся все виды обработки резанием, которые осуществляются лезвийным инструментом. Абразивная обработка производится абразивными инструментами.

Наша задача рассмотреть основные виды обработки резанием, движения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки, геометрические параметры режущего лезвия, порядок расчета оптимального режима резания и основного технологического времени.

Оптимальным режущим режимом резания называется такая совокупность всех его элементов (глубины, подачи и скорости резания), которая обеспечивает наибольшую производительность при наименьшей стоимости обработки.

Выбор, назначение или расчет режима резания ведется поэлементно в порядке влияния каждого из них на стойкость режущего инструмента: сначала назначается глубина резания, затем подача и после этого рассчитывается скорость резания с учетом принятых величин глубины и подачи.

Скорость резания рассчитывается по эмпирическим формулам. Все формулы составлены на основе закона $T - V$ и принципиально одинаковы, но для каждого вида обработки резанием имеют свой внешний вид и учитывают различное число факторов, наиболее характерных для данного вида обработки. Конкретные условия резания учитываются одним общим коэффициентом K_v , который представляет собой произведение целого ряда частных поправочных коэффициентов. Важнейшими из них являются:

K_M – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала;

K_{II} – коэффициент, учитывающий свойства инструментального материала;

K_{II} – коэффициент, учитывающий состояние обрабатываемой поверхности;

Численная величина указанных и других коэффициентов выбирается или рассчитывается по данным справочной литературы.

После расчета режима резания определяется основное технологическое время. Основным технологическим временем называется время, которое затрачивается непосредственно на обработку какой-то поверхности, время — в течение которого режущий инструмент механически перемещается со скоростью подачи.

13.1. Точение

Главным движением при точении является вращательное движение детали. Движение подачи придается режущему инструменту. Прямолинейное движение подачи может быть направлено вдоль или поперек оси вращения изделия, соответственно и подача называется продольной или поперечной.

Точение осуществляется на токарных станках. Характерным признаком его является непрерывность резания.

Методом точения можно выполнять следующие виды работ: обтачивание наружных и растачивание внутренних поверхностей, подрезание торцевой поверхности, фасонное точение фасонным резцом и копировальное точение по копиру.

В качестве режущего инструмента при точении используются резцы, конструкция, размеры и форма которых соответствуют выполняемой операции. Так, например растачивание производится расточными резцами, отрезка прутков или готовых деталей – отрезными и так далее.

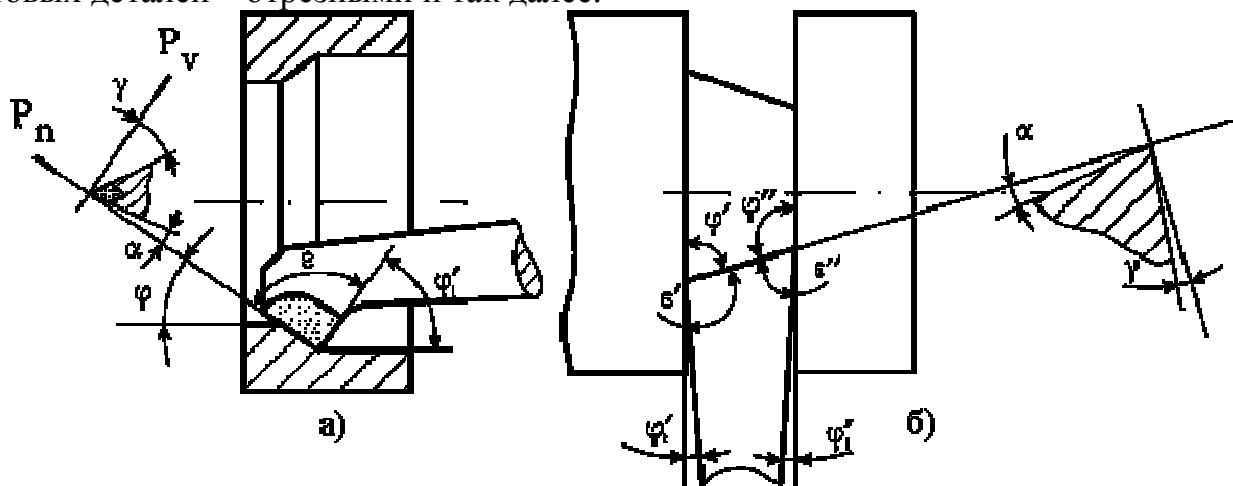


Рис. 13.1 Геометрические параметры а) расточного и б) отрезного резцов.

Независимо от вида резца его режущей части присущи все элементы режущего лезвия, рассмотренные ранее.

Расчет режима резания производится поэлементно в указанной выше последовательности. Глубина резания t назначается максимально возможной по условиям выполняемой операции. При черновой обработке она принимается равной припуску, при получистовой ($R_z = 6 - 3$ мкм): $t = 0,5 - 2,0$ мм; при чистовой ($R_z = 1 - 3$ мкм): $t = 0,1 - 0,5$ мм.

Подача s выбирается по таблицам справочной литературы в зависимости от требуемой чистоты обработанной поверхности, размера обрабатываемой детали и принятой величины глубины резания.

Скорость резания рассчитывается по эмпирической формуле:

$$v = \frac{C_v \cdot K_M \cdot K_T \cdot K_H}{T^m \cdot t^n \cdot s^j}, \text{ м/мин.}$$

Значение стойкости режущего инструмента T принимается для одноинструментальной обработки 30 – 60 минут, при многоинструментальной обработке и многостаночном обслуживании величина стойкости инструмента корректируется в сторону ее увеличения путем применения коэффициентов изменения стойкости.

После расчета режима резания производится расчет составляющих силы резания по формулам:

$$P_z = 10^3 C_p \cdot t^{x_{pz}} \cdot s^{y_{pz}} \cdot v^{z_{pz}} \cdot K_p, \text{ Н,}$$

где K_p – общий поправочный коэффициент,

Мощность резания рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{P_r \cdot v}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт.}$$

При одновременной работе нескольких инструментов мощность резания рассчитывают как суммарную.

После расчета мощности производится выбор станка, на котором будет выполняться проектируемая операция. Если выбранный станок имеет ступенчатое регулирование скорости главного движения, производится корректировка режима резания по станку.

$$v_p \rightarrow n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot D} \rightarrow n_{ст} \rightarrow v_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ст}}{1000}, \text{ м/мин,}$$

где n_p – расчетная частота вращения шпинделя, $n_{ст}$ – частота вращения шпинделя, принятая по станку, v_d – действительная скорость резания.

При корректировке режима резания частота вращения шпинделя (число его оборотов) принимается, как правило, ближайшей меньшей по сравнению с расчетной. Ближайшее большее число оборотов можно принимать лишь том случае, если действительная скорость резания увеличивается по сравнению с расчетной не более чем на 3%.

После расчета режима резания проводится расчет основного технологического времени. Основное технологическое время находится путем деления длины пути прохода инструмента на скорость подачи. Общий путь прохода инструмента при точении складывается из длины обрабатываемой поверхности, величины пути врезания резца и величины перебега его.

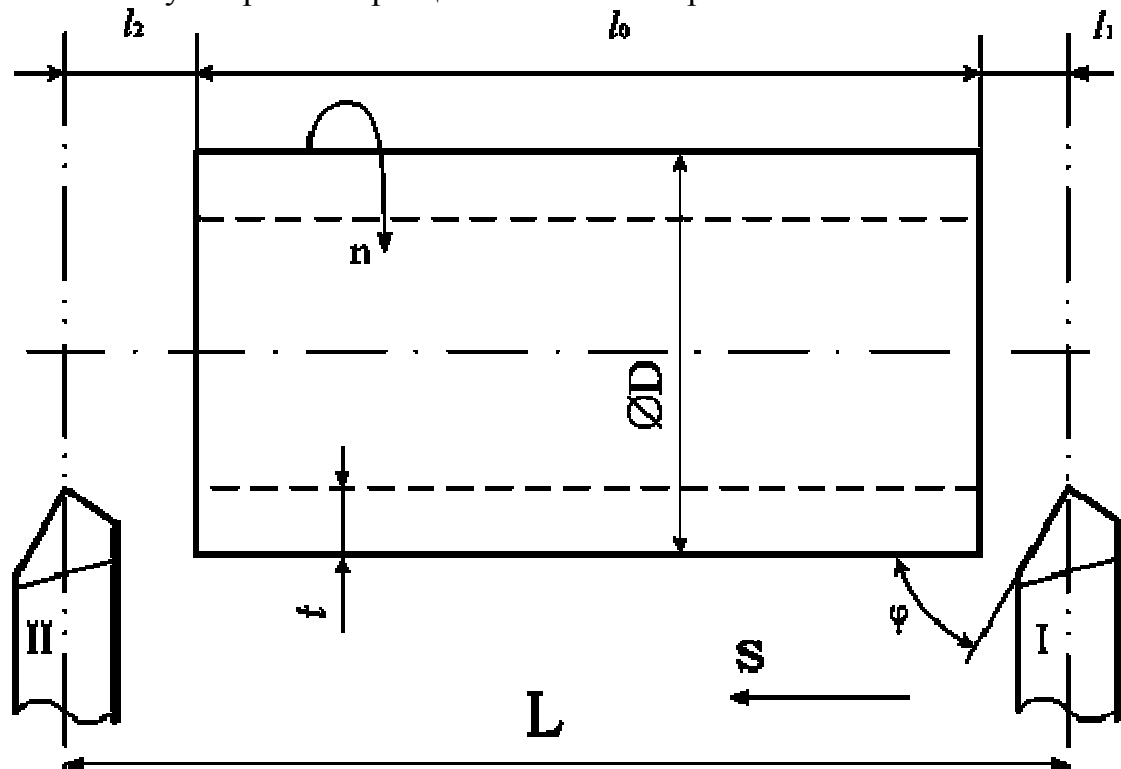


Рис. 13.2 Схема расчета основного технологического времени при точении.

Основное технологическое время t_0 рассчитывается по формуле:

$$t_0 = \frac{L}{n \cdot s},$$

где: L – длина прохода резца, мм,

n – частота вращения шпинделя, об/мин,

s – подача, мм/об;

$$L = l_0 + l_1 + l_2,$$

l_0 – длина обрабатываемой поверхности,

l_1 – величина врезания, $l_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi$,

l_2 – величина перебега инструмента, назначается в зависимости от размера обрабатываемой детали.

Лекция 14. Сверление

В этой теме рассматривается обработка отверстий сверлами, зенкерами и развертками, т.е. сверление, зенкерование и развертывание. Эти виды обработки отверстий применяются в зависимости от требуемой точности размера отверстия и качества обработанной поверхности.

Во всех случаях главным движением является вращательное движение инструмента, а движением подачи – поступательное перемещение его вдоль оси вращения.

Сверлами обычно обрабатываются отверстия в сплошном материале, когда требуется получить отверстия невысокой точности. Более точные отверстия после сверления обрабатываются зенкерами и развертками. В этом случае точность отверстий обеспечивается лучшим центрированием инструмента (благодаря наличию большего числа режущих лезвий), повышенной жесткостью инструмента и более легкими условиями работы каждого лезвия.

Сопоставление условий работы инструментов при сверлении, зенкерование и развертывании может быть представлено таблицей.

Сравнение условия работы осевых инструментов.

Вид обработки	Условие работы инструмента			Шероховатость R_z , мкм	Качество точности
	t , мм	φ , °	Z р. лезв.		
Сверление	$n/2$	60	2	100–40	11–12
Зенкерование	1–3	45–60	3–6	20–10	9–10
Развертывание	0,05–0,2	5–15	4–12	10–3	8–7

При сверлении в сплошном материале глубина резания t равна половине диаметра сверла, а при рассверливании – половине разности диаметров до и после сверления.

$$t = \frac{D}{2};$$

$$t = \frac{D-d}{2};$$

Подачей при сверлении (зенкерование и развертывании) является величина осевого перемещения инструмента за время одного его оборота. Поскольку резание одновременно ведётся двумя режущими лезвиями, то каждое из них рабо-

тает с подачей S_z , равной половине осевого перемещения сверла за время его одного оборота.

Скорость резания при сверлении равна окружной скорости периферийных точек режущих кромок сверла.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000},$$

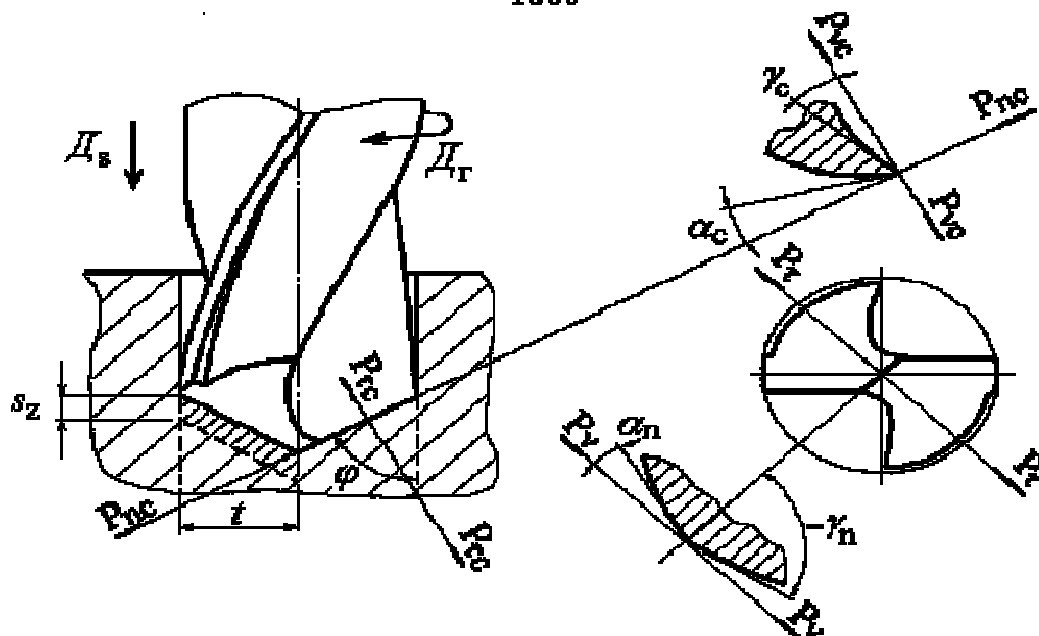


Рис 14.1. Элементы резания при сверлении и геометрические параметры сверла.

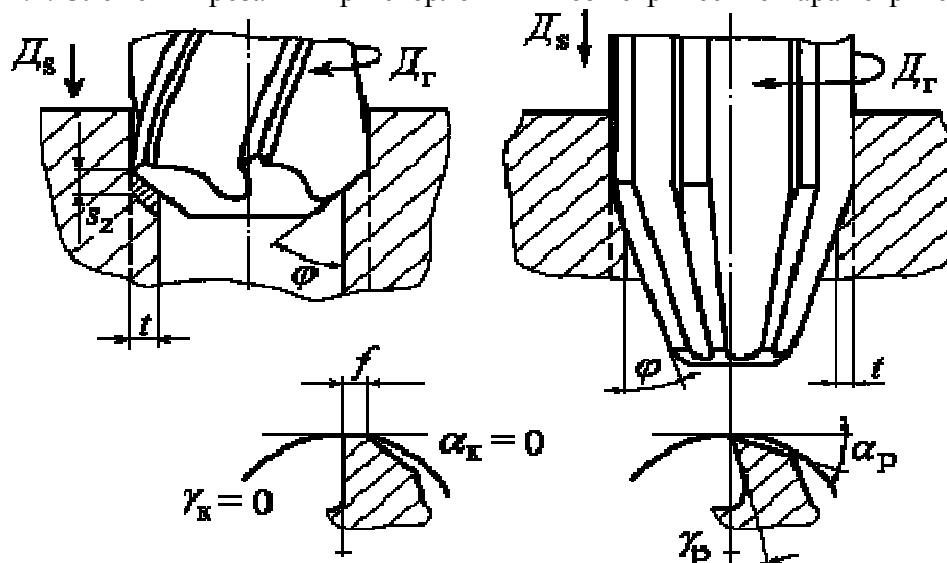


Рис 14.2. Элементы резания: а) - при зенкеровании, б) - развертывании; в) - профиль режущей и г) - калибрующей частей зуба развертки.

В отличие от других процессов резания имеет свои особенности. Они заключаются в том, что резание ведется инструментом, передний угол которого различен в разных точках режущего лезвия. Скорость резания здесь также не постоянна и меняется от 0 в центре сверла до какого-то максимального значения на периферии сверла. В центре отверстия, под перемычкой сверла, резание как таковое отсутствует, производится смятие и выдавливание обрабатываемого материала к периферии под режущие кромки. Особенностью геометрии сверла является наличие пятой поперечной режущей кромки. Ленточка сверла не имеет

вспомогательного заднего угла, что вызывает повышенно трение с обработанной поверхностью. Особенностью процесса является также и то, что сверло, окруженное обрабатываемым материалом, работает в стесненных условиях. Это затрудняет отвод стружки и циркуляцию внешней среды, что приводит к худшим условиям охлаждения.

При зенкеровании и развертывании элементы режима резания определяются так же, как при рассверливании. Каждый зуб зенкера или развертки работает с подачей, равной доле осевой подачи. Поскольку зенкеры и развертки имеют главные углы в плане меньше, чем у сверла, толщина среза меньше, чем при сверлении.

$$s_z = \frac{S_0}{Z},$$

$$a = \frac{s_z}{Z} \cdot \sin \varphi;$$

При расчете режима резания глубина резания назначается в указанных выше пределах. Подача выбирается по справочным таблицам с учетом глубины сверления, характера последующей обработки, жесткости системы СПИД и свойств инструментального материала. Скорость резания рассчитывается при сверлении:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^p} \cdot K_v;$$

при зенкеровании, рассверливании и развертывании:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^p \cdot t^r} \cdot K_v,$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{lv} \cdot K_{sv}.$$

Крутящий момент рассчитывается как произведение силы резания P_z половины размера диаметра инструмента:

$$M_{\text{кр}} = \frac{10 C_f \cdot t^r \cdot s_z^p \cdot D \cdot Z}{2 \cdot 1000}, \text{ Нм},$$

а эффективная мощность резания, определяется по формуле:

$$N_e = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750}, \text{ кВт}.$$

Основное технологическое время рассчитываются с учетом врезания и перебега:

$$t_0 = \frac{L}{n \cdot s_0},$$

$$L = l_1 + l_0 + l_2, \text{ мин.}$$

Для сверления: $L = l_0 + 0,3D$;

для зенкерования: $l_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi$; $l_2 = 1 - 4$, мм.

для развертывания: $l_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi$; $l_2 = 0,5l_k$;

где l_k – длина калибрующей части развертки, l_0 – длина обрабатываемого отверстия, D – диаметр сверла.

Лекция 15. Фрезерование

Фрезерование является распространенным видом механической обработки. Фрезерованием в большинстве случаев обрабатываются плоские или фасонные линейчатые поверхности. Фрезерование ведется многолезвийными инструментами – фрезами. Фреза представляет собой тело вращения, у которого режущие зубья расположены на цилиндрической или на торцевой поверхности. В зависимости от этого фрезы соответственно называются цилиндрическими или торцовыми, а само выполняемое ими фрезерование – цилиндрическим или торцевым. Главное движение придается фрезе, движение подачи обычно придается обрабатываемой детали, но может придаваться и инструменту – фрезе. Чаще всего оно является поступательным, но может быть вращательным или сложным.

Процесс фрезерования отличается от других процессов резания тем, что каждый зуб фрезы за один ее оборот находится в работе относительно малый промежуток времени. Большую часть оборота зуб фрезы проходит, не производя резания. Это благоприятно сказывается на стойкости фрез. Другой отличительной особенностью процесса фрезерования является то, что каждый зуб фрезы срезает стружку переменной толщины.

Фрезерование может производиться двумя способами: против подачи и

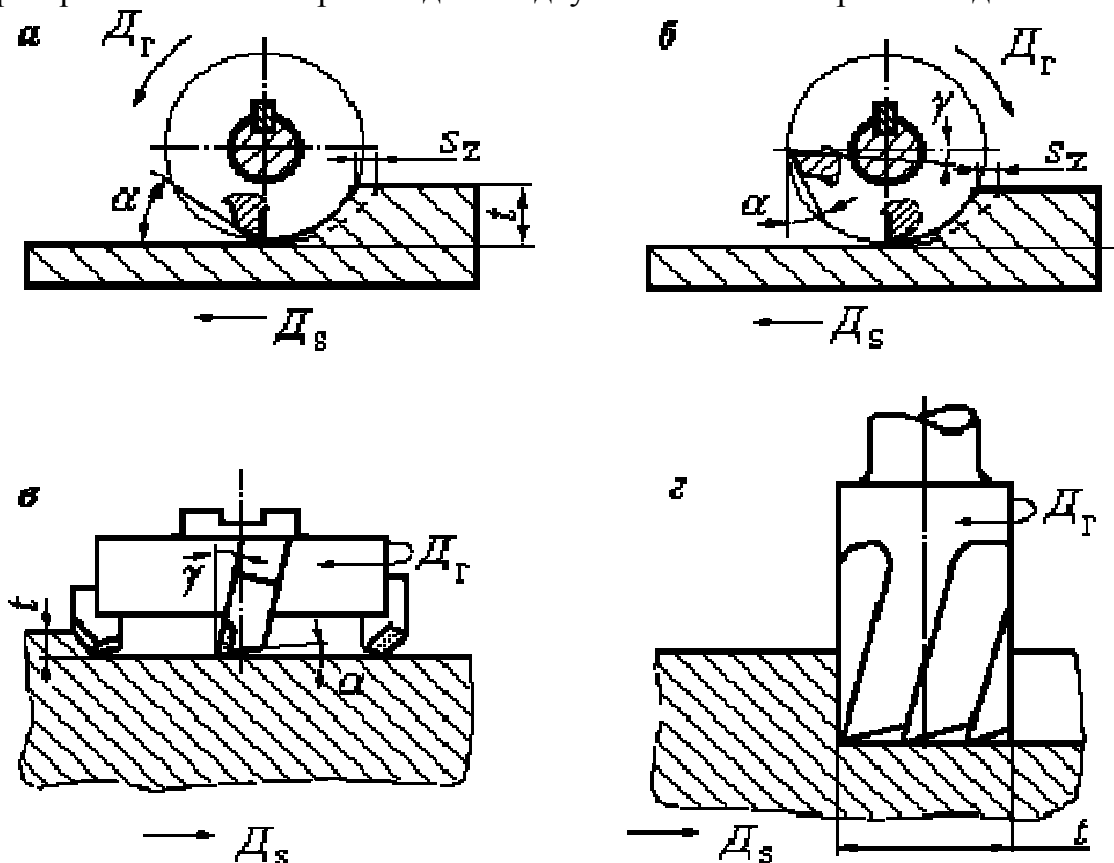


Рис.15.1. Виды фрезерования: а) – против подачи, б) – по подаче, в) – торцевой фрезой, г) – концевой фрезой.

по подаче (рис.15.1.). Первое фрезерование называется встречным, а второе – попутным. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

Встречное фрезерование является основным. Попутное фрезерование целесообразно вести лишь при обработке заготовок без корки и при обработке материалов, склонных к сильному обработочному упрочнению, так как при фрезеровании против подачи зуб фрезы, врезаясь в материал, довольно значительный путь проходит по сильно наклепанному слою. Износ фрез в этом случае протекает излишне интенсивно.

При работе торцовыми или концевыми фрезами различают симметричное и несимметричное резание. При симметричном резании ось фрезы совпадает с плоскостью симметрии обрабатываемой поверхности, а при несимметричном – не совпадает.

Основными элементами режима резания при фрезеровании являются глубина резания, подача, скорость резания и ширина фрезерования.

Глубиной резания t является толщина слоя металла, срезаемого за один проход. При цилиндрическом фрезеровании она соответствует длине дуги контакта фрезы с обрабатываемым изделием и измеряется в направлении, перпендикулярном оси вращения фрезы, при торцовом – в параллельном.

Под шириной фрезерования B следует понимать ширину обрабатываемой поверхности, измеренную в направлении, параллельном оси вращения цилиндрической или концевой фрезы, а при фрезеровании торцовой фрезой – в перпендикулярном.

Скоростью резания v является окружная скорость режущих лезвий фрезы

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{фр}}}{1000}, \text{ об/мин,}$$

где: D – диаметр фрезы, мм; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Подачей называется перемещение обрабатываемой заготовки относительно фрезы. При фрезеровании различают три вида подач:

- подача на зуб (s_z , мм/зуб) – величина перемещения заготовки за время поворота фрезы на один зуб;
- подача на оборот фрезы (s_0 , мм/об) – величина перемещения заготовки за время одного оборота фрезы;
- подача в минуту (или минутная подача, s_m , мм/мин) – величина перемещения заготовки в минуту
- Эти подачи связаны между собой зависимостью:

$$\begin{aligned} s_0 &= s_z \cdot z, \\ s_m &= s_0 \cdot n, \\ s_m &= s_z \cdot z \cdot n, \end{aligned}$$

где: z – число зубьев фрезы, n – частота вращения, об/мин.

Плавность работы фрезы зависит от глубины резания, диаметра фрезы и числа зубьев. Она определяется величиной угла контакта фрезы с обрабатываемой заготовкой. Углом контакта δ называется центральный угол, соответствующий длине дуги соприкосновения фрезы с обрабатываемой заготовкой–деталью (рис.15.2.).

$$\cos \delta = \frac{OK}{OC}; \quad OK = \frac{D}{2} - t; \quad OC = \frac{D}{2}; \quad \cos \delta = 1 - \frac{2t}{D}.$$

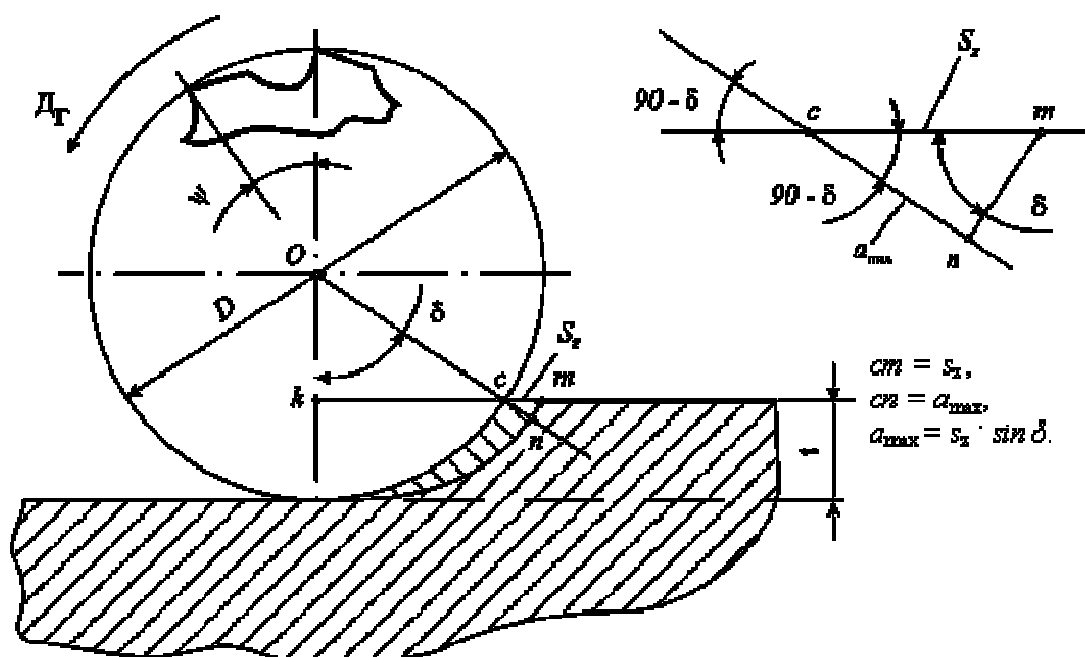


Рис.15.2. Схема расчета: а) – угла контакта фрезы δ и б) – максимальной толщины стружки $a_{\max}$.

Для обеспечения плавности работы фрезы число одновременно работающих зубьев должно быть не менее двух.

$$Z_{\text{о.р.}} = \frac{\delta}{\psi} \geq 2; \quad \psi = \frac{360^\circ}{Z}$$

$$Z_{\text{о.р.}} = \frac{\delta \cdot Z}{360^\circ}$$

Толщина среза при фрезеровании переменная, ее величина зависит от подачи на зуб и угла контакта фрезы:

$$a_{\max} = s_z \cdot \sin \delta.$$

При расчете режима резания глубина резания t назначается максимально возможной по условиям жесткости технологической системы, ширина фрезерования B определяется размерами обрабатываемой поверхности. Подача на зуб s_z выбирается по таблицам справочников в зависимости от вида и размеров применяемого инструмента, мощности станка и свойств обрабатываемого материала.

Скорость резания v рассчитывается с учетом величины выбранных элементов режима резания по формуле:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^r \cdot s_z^p \cdot B^u \cdot Z^j} \cdot K_v, \text{ м/мин,}$$

где: C_v – константа, зависящая от свойств обрабатываемого материала;

D – диаметр фрезы, мм;

T – стойкость фрезы, которая назначается в пределах от 60 до 400 минут в зависимости от вида и размера фрез, мин;

z – число зубьев фрезы;

s_z – подача на зуб, мм/зуб.

После расчета режима резания определяется главная составляющая силы резания P_z , крутящий момент $M_{кр}$ и потребляемая на резание мощность N :

$$P_z = \frac{10C_P \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^z \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \text{ Н.}$$

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000}, \text{ Н.м,}$$

$$N = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт.}$$

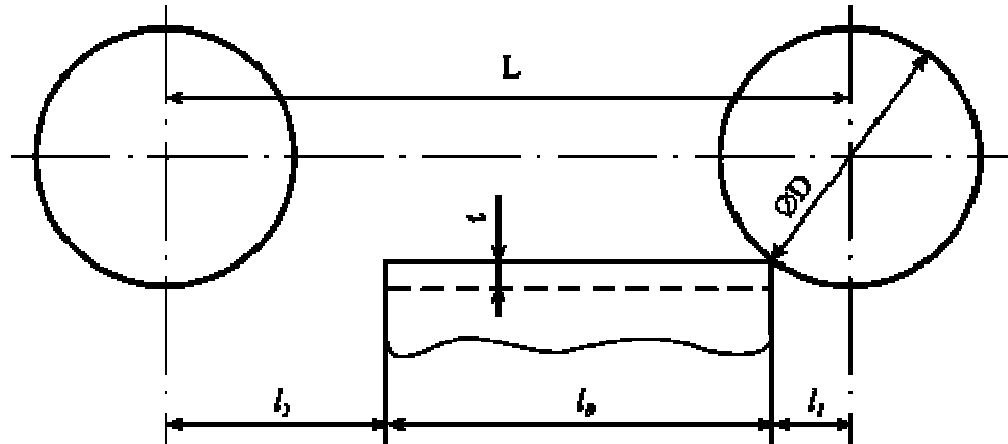


Рис.15.3. Схема расчета основного технологического времени при фрезеровании.

Основное технологическое время t_0 рассчитывается по формуле:

$$t_0 = \frac{L}{S_m}, \text{ мин,}$$

$$L = l_1 + l_0 + l_2;$$

Величина врезания l_1 зависит от диаметра фрезы и глубины резания. Из рис.15.3. видно, что:

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2} - t\right)^2 + l_1^2,$$

откуда

$$l_1 = \sqrt{t(D - t)}.$$

Величина перебега l_2 назначается в зависимости от размеров обрабатываемого изделия и диаметра фрезы.

Лекция 16. Протягивание

Протягивание применяется как окончательный вид обработки деталей, обеспечивающий высокую точность размеров и качество обработанных поверхностей. Метод высоко производительный, поскольку полная обработка изделия производится за один проход инструмента. Инструментами служат протяжки и прошивки. Протяжки протягиваются через обрабатываемое изделие, а прошивки продавливаются (прошиваются) через него.

Главным движением является движение протяжки, а скорость его — скоростью резания. Движение подачи отсутствует. Срезание припуска обеспечивается

увеличением размера (подъемом) зубьев: каждый последующий зуб выше предыдущего на величину подачи s_z . Глубиной резания при протягивании является ширина обрабатываемой поверхности или периметр обрабатываемого отверстия.

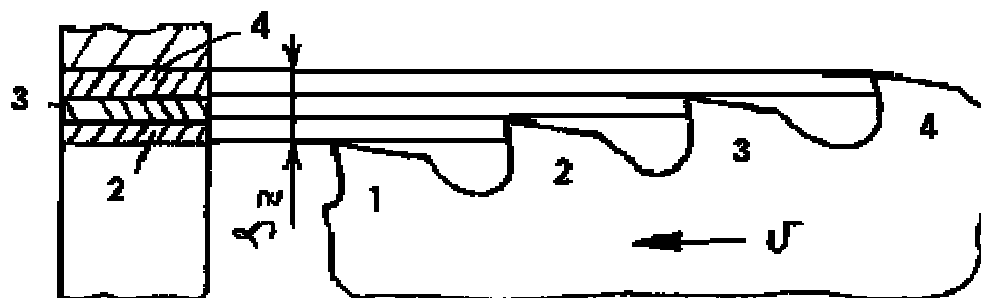


Рис. 16.1. Схема срезания припуска при протягивании.

Срезание припуска производится последовательно (послойно) режущими зубьями протяжки (рис.16.1). Из этого рисунка видно, что первый зуб не срезает припуск, так как его размер меньше размера отверстия протягивания. Второй зуб срезает слой припуска, расположенный против этого второго зуба и обозначенный цифрой 2. Третий зуб срежет слой 3 так далее. Последние зубья протяжки имеют одинаковый размер и потому срезания припуска не производят, а лишь зачищают поверхность и калибруют ее. Эти зубья называются калибрующими.

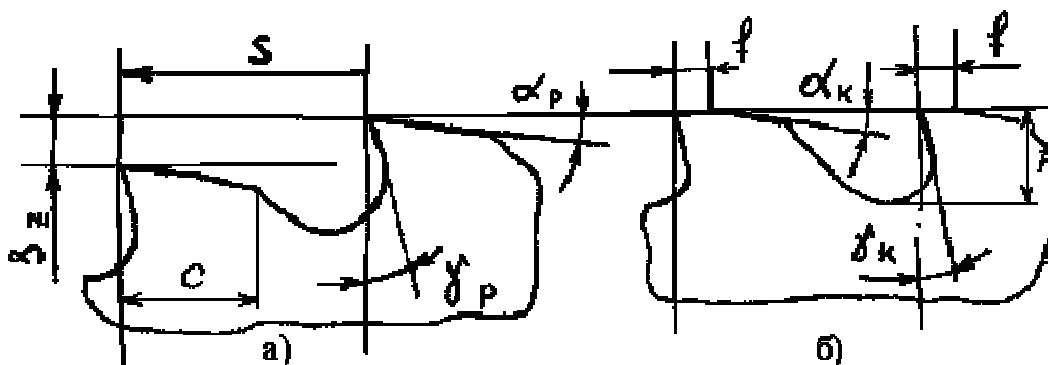


Рис. 16.2. Профиль: а) режущих и б) калибрующих зубьев протяжки.

В отличие от режущих зубьев, калибрующие зубья имеют на задней поверхности фаску f . Величина переднего угла назначается в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах 10—15 градусов. Задний угол режущих зубьев делается 3-4 градуса, а калибрующих 1 градус. Размеры зубьев протяжки зависят от длины протягиваемого отверстия.

$$S = 1,25 - 1,75 \sqrt{l_0};$$

$$h = (0,35 - 0,5) S, \quad C = 0,25 S.$$

Число режущих зубьев определяется как частные от деления величины припуска на подъем зуба s_z . Так при протягивании круглого отверстия припуск на сторону «А» равен половине разности диаметров до и после протягивания:

$$A = \frac{D - d_0}{2}, \text{ мм.}$$

Число режущих зубьев Z_p будет:

$$Z_z = \frac{A}{S_z} + 1.$$

где: A – припуск на сторону, мм;

S_z – подача на зуб (подъём зуба), мм/зуб.

В этой расчётной формуле добавлена единица, так как первый режущий зуб срезания припуска не производит, его размер сделан равным размеру отверстия под протягивание, он сделан на случай отклонения размера этого отверстия.

В процессе резания вся образующаяся стружка размещается во впадинах между зубьями и никуда не отводится. Поэтому производится проверка протяжки на заполнение впадины. Активная площадь продольного сечения впадины $F_{акт}$ равна площади вписанного в нее круга и должна быть больше площади продольного сечения стружки $F_{стр.}$ в 2,5-4,5 раза. Отношение этих площадей называется коэффициентом заполнения впадины.

$$k = \frac{F_{акт.}}{F_{стр.}}; F_{акт.} = \frac{\pi \cdot h^2}{4}; F_{стр.} = S_z \cdot l_o; k = 2,5-4,5; k = \frac{\pi \cdot h^2}{4 \cdot S_z \cdot l_o},$$

где: h – высота зуба;

l_o – длина обрабатываемого отверстия.

Последовательность срезания припуска определяется конструкцией протяжки и схемой резания. Различают три схемы резания: профильную, генераторную и прогрессивную.

Профильная схема резания предусматривает последовательное срезание припуска зубьями, профиль которых подобен профилю обрабатываемой поверхности.

Генераторная схема характеризуется тем, что каждый зуб не повторяет, а формирует (генерирует) профиль обрабатываемой поверхности.

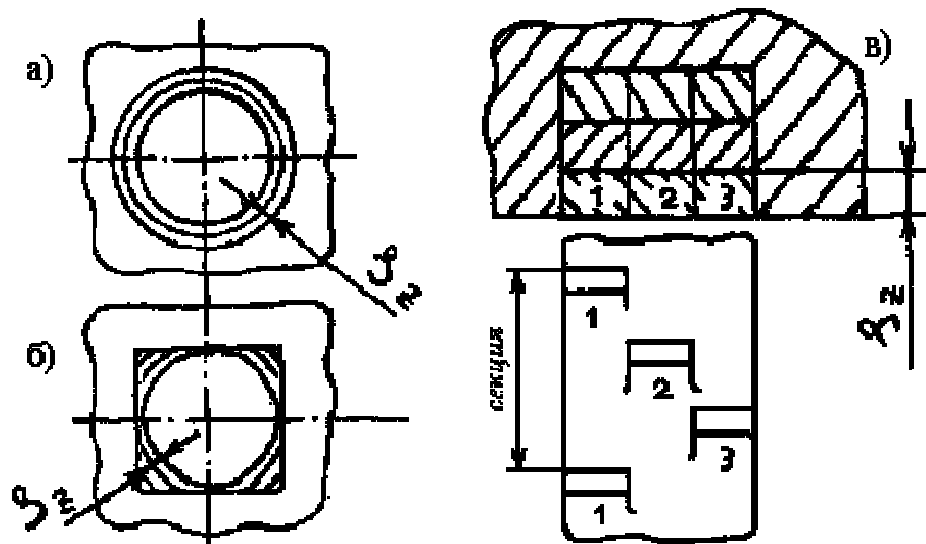


Рис. 16.3. Схемы резания при протягивании: а) профильная, б) генераторная, в) прогрессивная.

Прогрессивная схема резания заключается в разделении ширины срезаемого слоя между несколькими зубьями одной секции. Высота зубьев одной секции одинакова. Подача на зуб здесь значительно увеличивается. Таким образом, создаются более выгодные условия резания: режущие кромки зубьев проходят в

объеме основного не упрочненного слоя обрабатываемого материала и меньше изнашивается.

Расчет режима резания производится обычным порядком, но глубина резания не выбирается и не назначается, так как она определяется размерами и формой обрабатываемой поверхности. Подача выбирается в таблицах справочников в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах от 0,01 до 0,3 мм. Скорость резания выбирается в справочной литературе или рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^{m_v} \cdot s^y \cdot Z}$$

Стойкость протяжек назначается в пределах 100-500 мин. Обычно скорость при протягивании быстрорежущими протяжками находится в пределах от 2 до 10 м/мин., твердосплавные протяжки могут работать со скоростью резания до 20 м/мин.

Сила резания при протягивании рассчитывается по величине длины одновременно работающих режущих кромок зубьев протяжки.

$$P_Z = P \sum B; P_Z = P \cdot p \cdot Z_{o.p.}$$

где: P – сила резания, приходящаяся на 1мм. длины режущего лезвия зуба протяжки;

$\sum B$ – общая длина режущих кромок;

p – периметр обрабатываемой поверхности;

$Z_{o.p.}$ – число одновременно работающих зубьев.

$$Z_{o.p.} = \frac{l}{S}$$

После определения силы резания производится выбор станка и проверка принятой скорости резания по мощности двигателя станка.

$$v_{max} = \frac{60000 \cdot N \cdot \eta}{P_Z} \leq v_{np.}$$

Основное технологическое время рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{1000 \cdot v} \cdot k,$$

где: L – длина рабочего хода протяжки;

k – коэффициент, учитывающий время обратного хода протяжки. ($k = 1,2 - 1,5$).

Лекция 17. Нарезание резьбы.

Нарезание резьбы может производиться резьбовыми резцами методом точения, вихревым методом, метчиками или плашками. Резьбовыми резцами нарезаются как крепежные, так и ходовые резьбы. Вихревым методом с помощью специальных вихревых головок нарезаются в большинстве случаев ходовые резьбы на деталях типа ходовых винтов металлорежущих станков. Метчиками и плашками нарезаются, как правило, крепежные резьбы.

Нарезание резьбы резцами (методом точения) может производиться по профильной или генераторной схемам (рис.17.1).

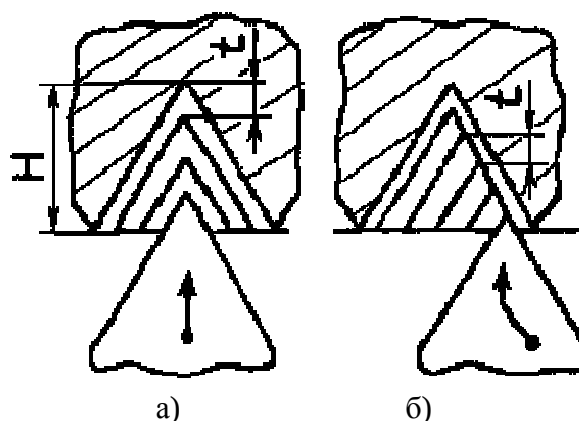


Рис.17.1. Нарезание резьбы резцами: а) по профильной и б) генераторной схемам.

Полный профиль резьбы нарезается за несколько проходов резца. После каждого прохода резец совершает холостой ход и возвращается в исходное положение, смещается на величину глубины резания и снова «проходит» по резьбе. Число проходов i зависит от шага P нарезаемой резьбы и примерно равно удвоенному его значению. Глубина резания равна доле высоты профиля, приходящейся на один проход. Подача равна шагу резьбы P .

$$t = \frac{H}{i}, \text{ мм}; \quad s = p, \text{ мм/об}; \quad v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/мин};$$

Расчет оптимальной скорости резания ведется по известной вам формуле расчета скорости при точении:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot p^y} \cdot k_v, \text{ м/мин.}$$

Основное технологическое время определяется с учетом времени на обратный ход резца и числа заходов резьбы.

$$t_o = \left(\frac{L}{p \cdot n_{p.x.}} + \frac{L}{p \cdot n_{x.x.}} \right) \cdot i \cdot q,$$

где: L — длина хода, мм;

p — шаг резьбы, мм;

$n_{p.x.}$ — частота вращения шпинделя при рабочем ходе резца, об/мин.;

$n_{x.x.}$ — частота вращения шпинделя при холостом ходе резца, об/мин.;

i — число проходов;

q — число заходов резьбы.

Нарезание резьбы метчиками и плашками может проводиться на токарных, сверлильных и многооперационных станках.

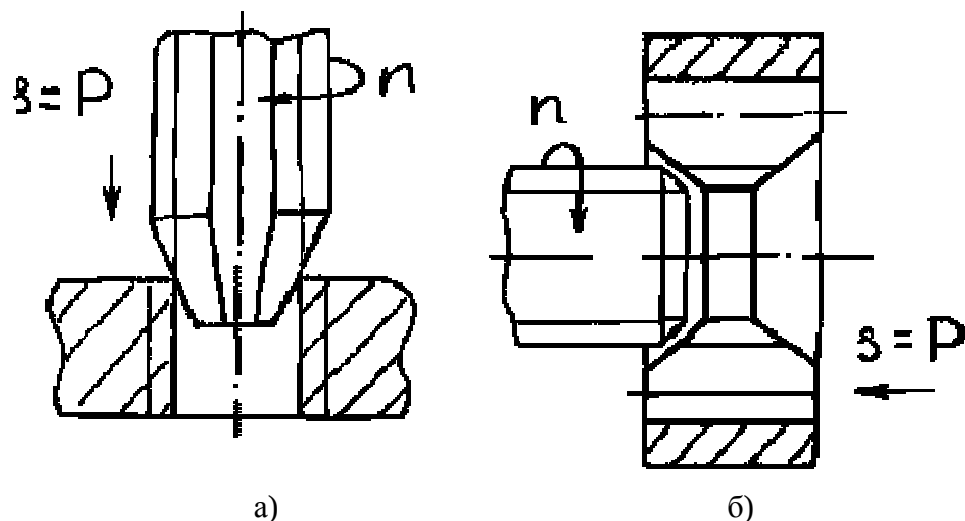


Рис. 17.2.Схемы нарезания резьбы: а) метчиком и б) плашкой.

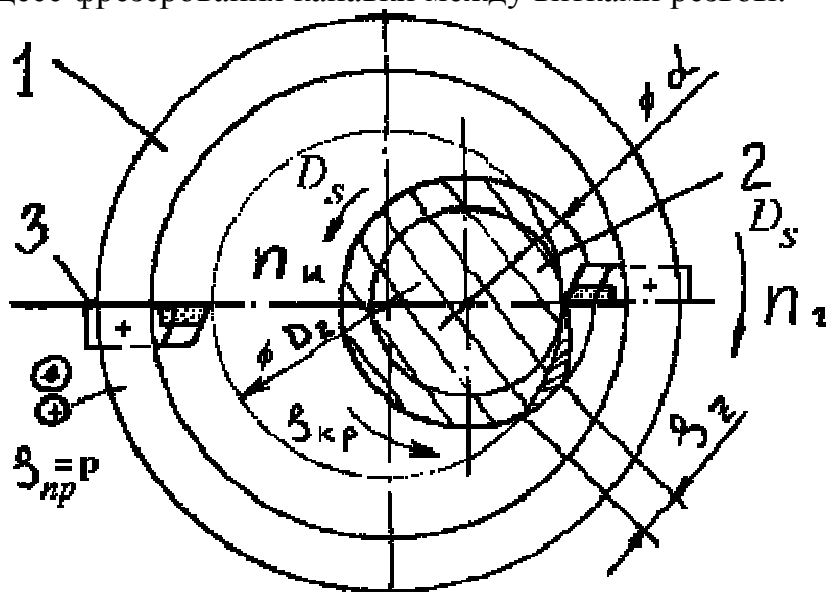
n_m -частота вращения метчика; n_u - частота вращения изделия, на котором нарезается резьба.

Главное движение (вращательное) может придаваться как изделию, так и режущему инструменту. Движение подачи – поступательное вдоль оси. Глубина резания равна высоте профиля резьбы, подача – ее шагу.

$$t = H; s = p; \quad v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}; \quad v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot p^y} \cdot k_v.$$

Вихревое нарезание резьбы осуществляется с помощью специальных вращающихся (вихревых) головок, которые устанавливаются на поперечных салазках токарных станков.

Нарезаемый винт пропускается через отверстие головки и закрепляется в центрах или в патроне и центре задней бабки станка. Главным движением является вращательное движение вихревой головки с закрепленными в ней резцами. Движение круговой подачи придается нарезаемому винту, а продольной – вихревой головке вдоль оси вращения винта. Вихревое нарезание резьбы по сути своей есть процесс фрезерования канавки между витками резьбы.



1 - вихревая головка,

2 - нарезаемое изделие- винт,
 3 - резбовой резец,
 D_r - диаметр головки,
 d - диаметр изделия нарезаемого винта,
 $S_{кр}$ – круговая подача, мм/зуб,
 $S_{пр}$ – продольная подача, мм/об.

Рис. 17.3. Схема вихревого нарезания резьбы.

Глубина резания при нарезании резьбы за один проход равняется высоте профиля резьбы, а при нарезании за несколько проходов – части профиля.

$$t_{ч.прн.} = H - A; \quad t_{ч.чист.} = A;$$

Величина продольной подачи равняется шагу резьбы:

$$s_{прод.} = P;$$

Скорость резания зависит от частоты вращения вихревой головки:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000};$$

Расчет оптимальной скорости резания ведется по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot P^y} \cdot k_v, \text{ м/мин},$$

где: H – высота профиля нарезаемой резьбы, мм;

A – припуск на чистовой проход, мм;

P – шаг нарезаемой резьбы, мм;

D_z – диаметр рабочей окружности головки, на которой располагаются вершины резцов головки, мм;

n_z – частота вращения головки, об/мин;

s_z – круговая подача, мм./зуб.

Величина круговой подачи на зуб – перемещение поверхности резания за время поворота головки на один зуб, регулируется путем изменения частоты вращения обрабатываемого изделия n_u . Величину ее можно определить исходя из следующих рассуждений. За время одного оборота нарезаемого изделия – винта, резцами прорезается канавка длиной l_0 , в течение одной минуты прорезается канавка длиной l_k в n_u раз большая.

$$l_k = \frac{\pi \cdot d}{\cos \beta};$$

$$l_k = \frac{\pi \cdot d}{\cos \beta} \cdot n_u;$$

За время одной минуты все резцы сделают N срезов, число которых равно произведению числа резцов Z в головке и частоты ее вращения $N = Z \cdot n_z$. Доля длины канавки, приходящаяся на один срез и есть подача на зуб s_z . Для определения ее величины остается лишь разделить длину прорезанной в течение одной минуты канавки l_k на число срезов N , сделанных в течение одной минуты.

$$s_z = \frac{\pi \cdot d \cdot n_u}{\cos \beta \cdot Z \cdot n_z};$$

$$s_z = \frac{l_k}{N};$$

На основании этой зависимости следует назначить частоту вращения изделия (винта) n_u , соответствующую выбранной и принятой величине подачи на зуб s_z .

$$n_u = \frac{s_z \cdot \cos \beta \cdot Z \cdot n_z}{\pi \cdot d_u},$$

где: n_u - частота вращения шпинделя станка и нарезаемого винта, об/мин;

s_z — выбранная величина подачи на зуб, мм/зуб;

β — угол подъема резьбы;

Z- число резцов в головке;

n_z — частота вращения головки, об/мин.;

d_u — наружный диаметр нарезаемой резьбы, мм.

Величина s_z выбирается по таблицам справочной литературы в пределах от 0,4 до 1,2 мм. на зуб в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала.

Основное технологическое время определяется по формуле

$$t_o = \frac{L \cdot i}{p \cdot n_u}$$

Вихревое нарезание резьбы обеспечивает высокое качество ее и высокую производительность за счет малого числа проходов.

Лекция 18. Шлифование

18.1. Особенности процесса резания при шлифовании

Шлифование обеспечивает получение высокой чистоты обработанной поверхности и высокой точности размеров обрабатываемых деталей. Шлифование выполняется абразивными инструментами. Абразивный инструмент представляет собой твердое тело, состоящее из зерен абразивного (шлифовального) материала, скрепленных между собой связкой. Значительную часть объема абразивного инструмента занимают воздушные поры. Абразивные инструменты в подавляющем большинстве используются в виде шлифовальных кругов разнообразной формы. Кроме того, они могут

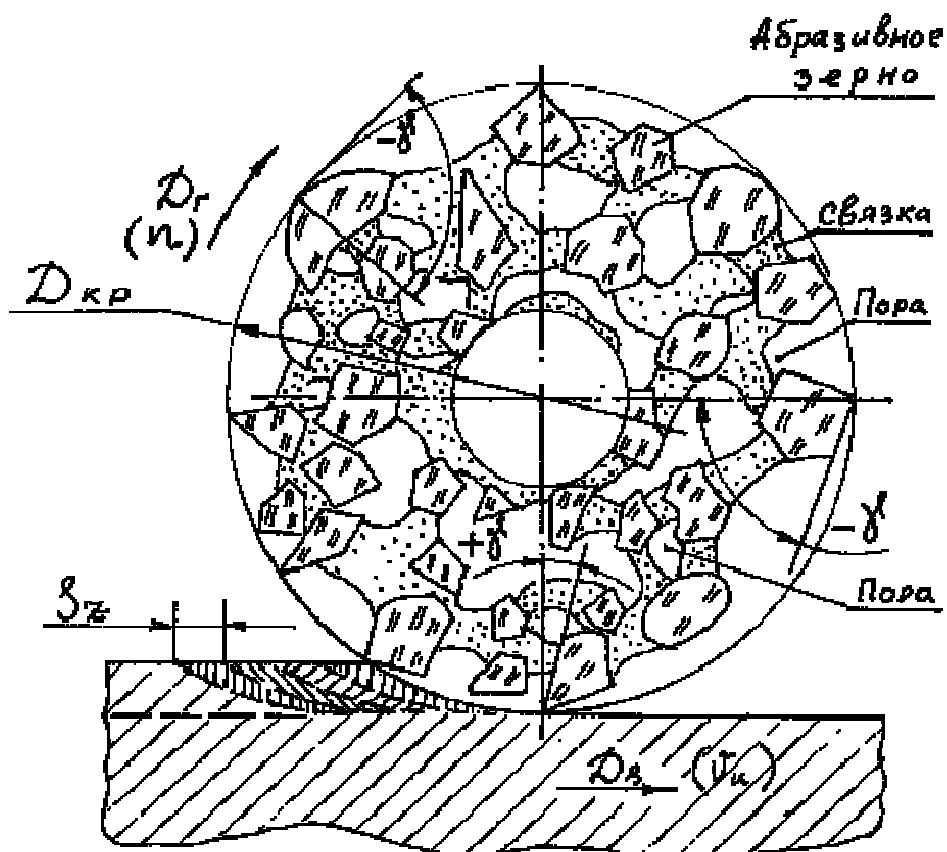


Рис.18.1. Схема резания и расположения абразивных зерен, пор и связки в абразивном инструменте при шлифовании.

использоваться в виде брусков, шкурок, паст и порошков.

Процесс резания при шлифовании можно рассматривать как фрезерование многозубой фрезой с высокой скоростью. Каждое единичное абразивное зерно представляет собой режущее лезвие со случайными геометрическими параметрами, которые зависят не только от формы зерна, но и от положения его в абразивном инструменте. На рис.18.1. видно, что наибольший, отрицательный передний угол имеется на зернах со сферической поверхностью.

Каждое единичное зерно срезает стружку очень малого переменного сечения. Обработанная поверхность образуется в результате совокупного действия большого числа абразивных зерен, расположенных на режущей поверхности абразивного инструмента. Срезаемая в процессе работы круга стружка располагается в порах между зернами. Разогревшаяся до высокой температуры, близкой к температуре плавления обрабатываемого материала, и размягчившаяся стружка забивает поры и налипает на поверхность круга, происходит так называемое «засаливание» его. При этом режущая способность шлифовального круга резко падает, ухудшается чистота и качество обработанной поверхности. Для восстановления режущей способности круга производится его правка, при которой с помощью правочных роликов или алмазных «карандашей» с режущей части круга удаляется поверхностный слой затупившихся и засалившихся зерен.

18.2. Работа единичного зерна

Определить условия работы единичного зерна, в частности подачу, приходящуюся на одно единичное зерно, можно исходя из тех же соображений, что и при расчете подачи на зуб при вихревом нарезании резьбы. В качестве примера возьмем случай плоского шлифования. В течение одной минуты с обрабатываемой детали срезается слой припуска длиной, равной величине продольной подачи v_u , м/мин. В течение этого времени абразивный круг сделает n оборотов. Все лежащие на периферийной поверхности круга абразивные зерна при этом принимают участие в срезании припуска. Все абразивные зерна, лежащие в одной общей плоскости, проходящей перпендикулярно оси вращения круга, сделают в течение одной минуты число срезов N равное произведению числа лежащих в этой плоскости зерен и числа, сделанных в течение этой минуты оборотов круга. Число этих оборотов известно – оно равно частоте вращения круга n_k . При условии расположения абразивных зерен вплотную друг к другу, без свободных промежутков между ними, число зерен лежащих на одной окружности периферийной поверхности круга (в одной плоскости) $Z_{a.z.}$ можно определить, поделив длину окружности периферийной поверхности круга на размер зерна. В действительности абразивный материал занимает лишь долю объема инструмента (см. табл.18.1.).

Таблица 18.1. Объемное содержание шлифовального материала в абразивных инструментах.

Номер структуры	1—3	3-4	5-6	7-8	9-12	13-16
Содержание абразивных зерен, %	60-56	56-54	52-50	48-46	44-38	34-30

Оставшаяся часть объема приходится на занятые воздухом поры и связку, скрепляющую абразивные зерна. Следовательно, и на рабочей, периферийной поверхности абразивные зерна занимают такую же долю площади и в том же соотношении распределяются по окружности в плоскости, нормальной к оси вращения круга.

На рис.18.1. представлена схема расположения абразивных зерен на поверхности абразивного круга по окружности, лежащей в плоскости перпендикулярной оси вращения круга. Эти зерна последовательно друг за другом срезают припуск по одной линии в направлении продольной подачи. Каждое абразивное зерно вслед за предыдущим срезает стружку, толщина которой соответствует величине подачи на зуб (на зерно) s_z .

Таким образом, исходя из вышесказанных соображений:

$$s_z = \frac{v_u}{N}, \text{ мм/зерно};$$

где: s_z – подача на зуб (зерно), мм/зуб;

v_u – продольная подача, мм/мин;

N – число срезов сделанных в течение одной минуты абразивными зернами, лежащими в одной плоскости на периферийной поверхности абразивного круга;

$N = n_{kp} \cdot Z_{a.z.}$ абразивных зерен на длине окружности, на периферийной поверхности абразивного круга.

$$Z_{a.z.} = \frac{\pi \cdot D_{kp} \cdot C}{100 \cdot \delta},$$

где: $Z_{a.z.}$ – число абразивных зерен на окружности периферийной поверхности круга в плоскости нормальной к оси его вращения;

D_{kp} – наружный диаметр круга, мм.

δ – поперечный размер абразивных зерен, мм.

C – содержание абразивных зерен, %.

Исходя из этого:

$$s_z = \frac{1000 \cdot v_u \cdot 100 \cdot \delta}{n_{kp} \cdot C \cdot \pi \cdot D_{kp}}, \text{ мм/зерно.}$$

С целью количественной оценки величины подачи s_z , приходящейся на одно абразивное зерно, проведем ее расчет для произвольно принятых условий шлифования в пределах реально применяемых в практике машиностроения. Предположим, что шлифование плоской поверхности ведется на плоскошлифовальном станке абразивным кругом прямого профиля диаметром $D_{kp}=200$ мм. с зернистостью шлифовального материала 50, что соответствует размеру абразивных зерен $\delta = 0,5$ мм. Структура круга No 3 с объемным содержанием шлифовального материала $C=50\%$. Примем скорость продольной подачи $v_u=12$ м/мин., частоту вращения круга $n_{kp}=2800$ об./мин. Для этих условий:

$$s_z = \frac{1000 \cdot v_u \cdot 100 \cdot \delta}{n_{kp} \cdot C \cdot \pi \cdot D_{kp}} = \frac{1000 \cdot 12 \cdot 0,5 \cdot 100}{2800 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 50} = 0,00682 \text{ мм/зерно}$$

18.3. Абразивные инструменты и их маркировка

Все абразивные инструменты имеют свою маркировку. В маркировке абразивного инструмента указывается природа абразивного материала, размер его зерен (зернистость) и зерновой состав (содержание основной фракции), твердость инструмента, природа и свойства связки, класс точности и класс неуравновешенности круга.

Так, например, маркировка абразивного круга может быть:

25А 16 П СМ2 8 К8 Б 3,

где

25А – шлифовальный материал-электрокорунд белый,

16 – зернистость (160-200 мкм.),

П – зерновой состав (содержание основной фракции 55%),

СМ2 – твердость круга,

8 – номер структуры,

К8 – связка керамическая,

Б – класс точности,

3 – класс неуравновешенности круга.

Кроме этого на абразивном круге указывается обозначение его формы, размеры и максимальная окружная скорость (скорость резания) в метрах в секунду.

В качестве шлифовальных материалов применяются:

- на основе кристаллической окиси алюминия Al_2O_3 - нормальный электрокорунд (марки **13А, 14А и 15А**), электрокорунд белый (**23А, 24А, 25А**), хромистый электрокорунд (**33А и 34А**), монокорунд (**43А, 44А**);
- на основе карбида кремния SiC- карбид кремния черный (**53С, 54С, 55С**) и карбид кремния зеленый (**63С, 64С**);
- природный алмаз (**А1, А2, А3, А5, А8**);
- синтетический алмаз (**АС2, АС4, АС6, АС15, АС20**).

В зависимости от размера зерен шлифовальные материалы делятся на четыре группы: шлифзерно (2000-160 мкм), шлифпорошки (125-40 мкм), микрошлифпорошки (63-14 мкм) и тонкие микропорошки (10-3 мкм). В номере зернистости размер зерен основной фракции указывается в сотых долях миллиметра.

Содержание основной фракции обозначается буквенными индексами: **В** (высокое), **П** (пониженное), **Н** (низкое) и **Д** (допустимое).

Твердость абразивного инструмента зависит от прочности связки и характеризует способность связки удерживать зерна шлифовального материала. Установлены семь степеней твердости инструментов: весьма мягкие (**ВМ1, ВМ2**), мягкие (**М1, М2, М3**), среднемягкие (**СМ1, СМ2**), средние (**С1, С2**), среднетвердые (**СТ1, СТ2, СТ3**), твердые (**Т1, Т2**), весьма твердые (**ВТ**) и чрезвычайно твердые (**ЧТ**).

Номер структуры круга показывает объемное содержание шлифовального материала. С увеличением номера от 1 до 16 содержание шлифовального материала уменьшается, а объем пор увеличивается.

Связки абразивных инструментов могут быть: керамические (**К1-К10**), бакелитовые (**Б, Б1-Б4**), вулканитовые (**В, В1-В5**), металлические (**М1, МК, МВ1**), глифталевые (**Г**) и другие.

Шлифовальные круги изготавливаются трех классов точности (**АА, А и Б**) и четырех классов неуравновешенности (**1, 2, 3 и 4**).

При шлифовании вращательное главное движение резания всегда придается режущему инструменту — шлифовальному кругу. Скорость его является скоростью резания, измеряемой, в отличие от всех других видов обработки резанием, в метрах в секунду. По форме обрабатываемой поверхности шлифование может быть плоским или круглым.

18.4. Плоское и круглое шлифование

При плоском шлифовании периферией круга обрабатываемой заготовке придаются движения продольной подачи $S_{пр}$ со скоростью v_u и поперечной подачи s_n . После прохода по всей обрабатываемой поверхности шлифовальному кругу дается движение вертикальной подачи s_v , в результате которого он перемещается на величину глубины резания t .

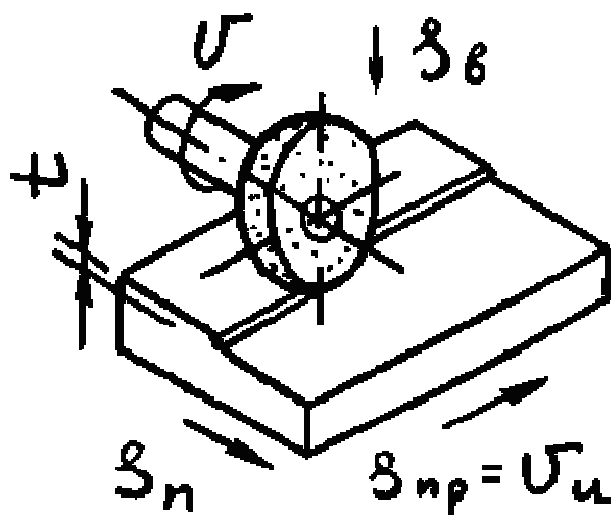


Рис.18.2. Схема плоского шлифования.

Глубина резания назначается в пределах 0,005-0,015 мм при чистовых проходах и 0,015-0,15 при черновых проходах. Поперечная подача зависит от ширины круга и назначается на чистовых проходах 0,2-0,3, а на черновых 0,4-0,7 его ширины.

Скорость продольной подачи заготовки назначается в пределах от 3 до 30 м/мин. Скорость резания не рассчитывается и не регулируется.

Основное технологическое время рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{l \cdot (B_{kp} + B_z + l_2) \cdot h \cdot k_T}{1000 \cdot v_u \cdot t \cdot s_n},$$

где: l – длина хода стола с заготовкой, мм;

B_{kp} – ширина круга, мм;

B_z – ширина заготовки, мм;

l_2 – величина перебега с каждой боковой стороны перепега, мм;

h – величина припуска, мм;

v_u – скорость продольной подачи, м/мин;

s_n – поперечная подача, мм/х. или мм/дв.х.;

t – глубина резания, мм;

k_T – коэффициент точности (1,2-1,5).

Круглое шлифование может осуществляться методами продольной подачи, глубинным, врезания и бесцентрового шлифования.

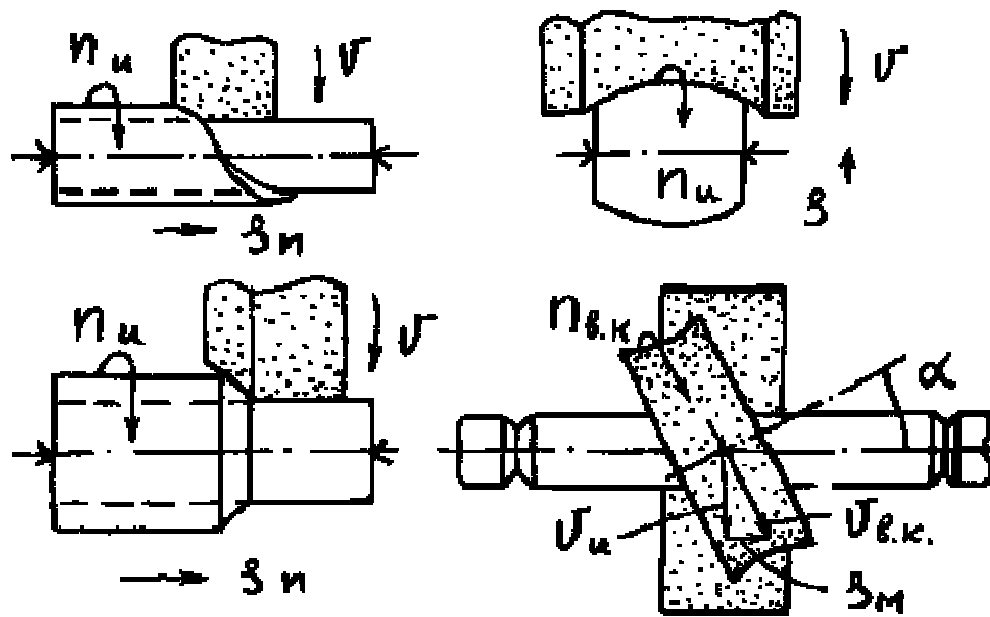


Рис.18.4.2. Методы круглого шлифования.

При бесцентровом шлифовании продольная подача s_m изделия происходит за счет поворота ведущего круга.

$$s_m = \pi \cdot D_{\text{в.к.}} \cdot n_{\text{в.к.}} \cdot \sin \alpha \cdot \lambda,$$

где: λ — коэффициент, учитывающий проскальзывание круга.

Основное технологическое время определяется:

при шлифовании методом продольной подачи

$$t_o = \frac{(l_o + B_{kp} + l_2) \cdot h \cdot k_T}{s_n \cdot n_u \cdot t};$$

при глубинном методе

$$t_o = \frac{l_o + B_{kp} + l_2}{s_n \cdot n_u};$$

при шлифовании методом врезания

$$t_o = \frac{h \cdot k_T}{s \cdot n_u};$$

при бесцентровом шлифовании

$$t_o = \frac{(l_o \cdot m + B_{kp})}{s_m \cdot m},$$

где: l_o — длина обрабатываемой поверхности;

B_{kp} — ширина шлифовального круга, мм;

s_n — продольная подача, мм/об;

n_u — частота вращения изделия, об/мин;

h — припуск на обработку, мм;

t — глубина резания, мм;

s_m — минутная подача, мм/мин;

m — число деталей в партии, шлифуемых одним потоком;

k_T – коэффициент точности.

Кроме жесткого шлифования твердыми кругами в практике машиностроения в последнее время находит все расширяющееся применение мягкое шлифование абразивными лентами, лепестковыми кругами и в среде свободного абразива.