

стоянным межосевым расстоянием и холодного калибрования зубьев. Особую проблему представляет разработка методики коррекции профиля зубьев накатников и расчёта модифицированного профиля шлифовального круга для их изготовления.

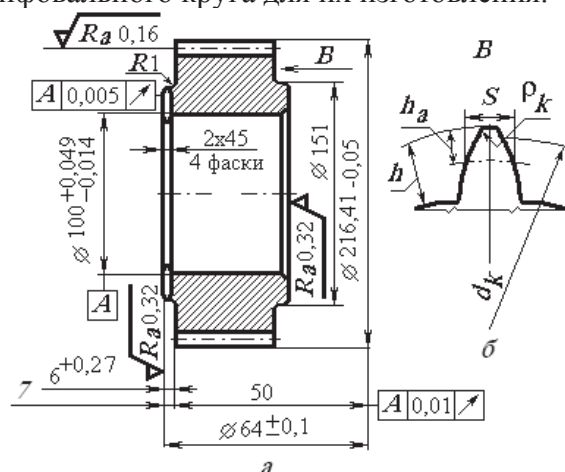


Рисунок 2. Общий вид гладкого накатника (а) и увеличенное изображение профиля зуба накатника (б)

Таблица 2

Основные параметры накатников

Модуль нормальный	m_n	4,25
Число зубьев	z	49
Угол наклона зубьев	β	0°
Угол профиля исходного контура	α	20°
Делительная высота головки зуба	h_a	4,078
Делительная высота ножки зуба	h_f	5,062
Радиус кривизны переходной кривой	r_f	1,615
Окружная делительная толщина зуба	S	7,075
Допуск на радиальное биение зубчатого венца	F_r	0,010
Допуск на накопленную погрешность шага	F_p	0,012
Допуск на погрешность профиля зуба	f_f	0,006
Допуск на разность соседних окружных шагов	f_{pt}	0,003
Допуск на погрешность направления зуба	F_β	0,008
Диаметр делительной окружности	d	208,25
Диаметр основной окружности	d_b	195,691
Высота зуба	h	9,94

Литература

- Особенности холодного чистового калибрования зубчатых колес автомобильных трансмиссий/ Буянов А.С., Черепяхин А.А.// Автомобильная промышленность. 2011. № 8. с. 32-33.
- Холодное накатывание зубьев цилиндрических колес с предварительной стабилизацией припуска под обработку. / Виноградов В.М., Черепяхин А.А. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 1. с. 25-28.

Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем применения активированного воздуха

к.т.н. доц. Чекалова Е.А., Чекалов П.Д.

Университет машиностроения, МГТУ «Станкин»

(916) 102-22-94, Melou666@mail.ru

Аннотация. Предложен метод повышения работоспособности твердосплавного инструмента путем применения активированного воздуха. Представлены резуль-

таты исследований влияния технологической среды (воздух) на интенсивность износа твердосплавного инструмента.

Ключевые слова: коронный разряд, активированный воздух

Работоспособность режущего инструмента является основным показателем, отвечающим за его эксплуатационные свойства. Применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) при металлообработке оказывает эффективное влияние на повышение стойкости инструментов.

Однако многие работы свидетельствуют о сложности физико-химических взаимодействий между инструментом и обрабатываемым материалом. В настоящее время нет конкретного представления о процессах, протекающих в зоне контакта при резании металлов. Потому что в большинстве случаев применение СОТС крайне затрудняет визуальное наблюдение за состоянием режущей кромки инструмента и качеством образующейся поверхности детали [1, 2].

Поэтому проведение исследований с целью определения физико-механических закономерностей в контактной зоне является важной научно-технической проблемой.

Кроме этого использование обычных смазочно-охлаждающих жидкостей приводит к некоторым отрицательным эффектам, таким как загрязнению окружающей среды, воздействию на здоровье людей и увеличению стоимости механообработки. Некоторые альтернативные методы были исследованы с целью уменьшения или исключения использования смазочно-охлаждающих жидкостей. Эти методы заключаются главным образом в охлаждении с использованием жидкого азота, минимального количества смазочных материалов и резании с охлаждением воздухом.

Например, использование воздуха как хладагента позволяет применять обычное стандартное цеховое компрессорное оборудование, при этом воздушно-холодильные установки всех типов имеют высокую мобильность, малое время разгона и вывода на режим. Применение в этих условиях других хладагентов требует обязательного включения дополнительного контура передачи холода от хладагента к хладоносителю, что вызывает соответственное увеличение капиталовложений и энергетических затрат.

В связи с этим необходима принципиально новая технология подачи воздуха, которая может быть использована в качестве хладоносителя, т.к. эффективность воздуха заключается в повышенной способности выносить из зоны резания мельчайшие частицы продуктов резания, что в ряде случаев (чистовая лезвийная и абразивная обработка) является одним из важнейших требований к технологичным средам. Воздушная технологическая среда нетоксична и при этом обеспечивает хорошие санитарно-гигиенические условия на рабочем месте. Так, по сравнению с СОЖ она не загрязняет рабочее место, что облегчает наблюдение за состоянием инструмента и поверхности детали в зоне резания.

Для этого было разработано устройство, была разработана технология обработки резанием с воздействием активированного воздуха [3-6]. Устройство (рисунок 1) можно размещать на любом металлорежущем оборудовании без его модернизации, оно обеспечивает хорошие санитарно-гигиенические условия на рабочем месте, соответствующие нормативным требованиям, обеспечивает охлаждающее действие режущей кромки инструмента за счет наличия заряженных частиц воздуха, что повышает сопротивление инструмента изнашиванию и производительность резания.

Устройство (Патент 2279962 (РФ)) запатентовано и действует по принципу перераспределения энергии сжатого воздуха. Устройство состоит из блока питания (1), соединенного высоковольтным кабелем с соплом (6), на корпус которого подается отрицательное напряжение. Сопло состоит из герметичного корпуса с центральным воздухопроводом. Центральным воздухопроводом служит конденсатором, при этом емкость и собственная индуктивность конденсатора выбрана из условия работы сопла в пульсирующем режиме. Внутри сопла размещен электрод, на который подводится отрицательное напряжение. Сопло оснащено штуцером (8), соединенным с вихревой трубкой, к которой подводится газовая среда (воздух). Сопло выполнено таким образом, чтобы создать между электродом и корпусом электрическое поле,

способствующее устойчивому коронному разряду.

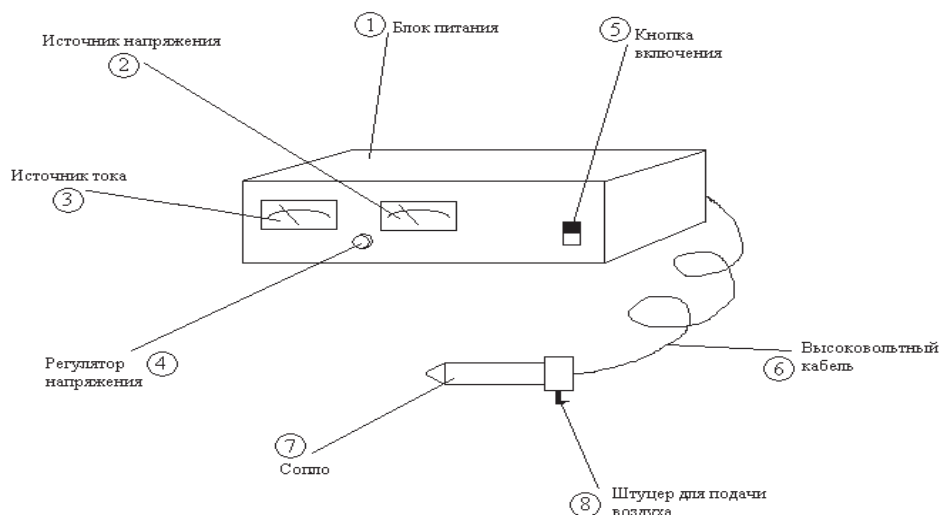


Рисунок 1. Устройство для подачи активированного воздуха «УИВ-1»

Выбор воздуха в качестве технологической среды обусловлен многими достоинствами: воздух доступен и дешев; подается из центральной сети под давлением в любую точку завода.

Были проведены исследования по разработанной технологии обработки резанием с воздействием активированного воздуха. В качестве режущего инструмента - твердосплавные пластины IS20 фирмы «ISKAR». Эксперименты проводили с использованием как с СОТС (марка ЭГТ) с «активированным воздухом», так и без СОТС. Критерием затупления служил износ по задней поверхности инструмента. Анализ сравнительных результатов исследований показан на рисунке 2. Для установления особенностей кинетики изнашивания инструмента были использованы кривые зависимости износ от времени $h_3 = f(\tau)$.

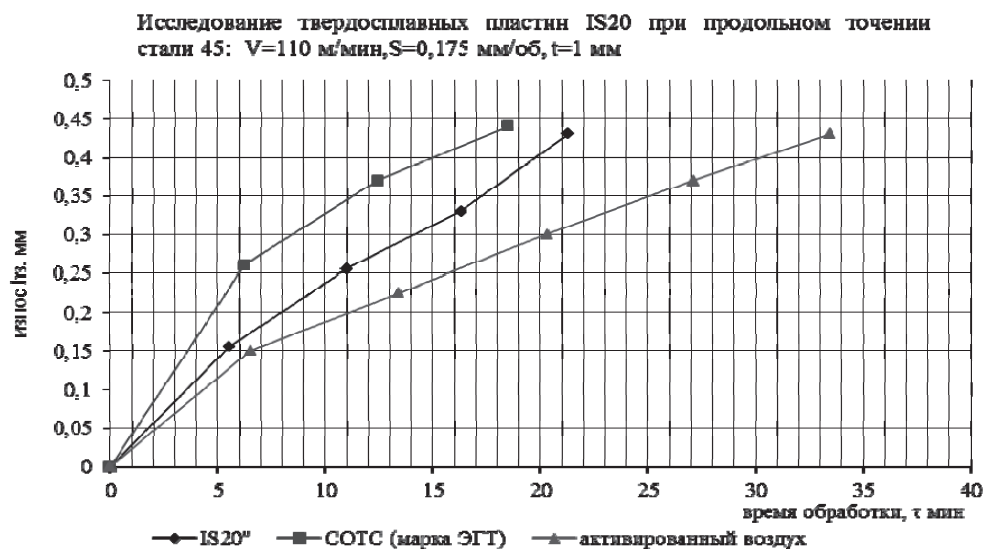


Рисунок 2. Обобщенные кривые $h_3 = f(\tau)$ для твердосплавных пластин IS20 фирмы «ISKAR» при точении стали 45 (180 НВ) с $v = 110$ м/мин; $S = 0,175$ мм/об; $t = 1,0$ мм.

Полученные исследования показывают, что заметно снижается не только интенсивность изнашивания инструмента на стадии приработки, но и сильно уменьшается критическая величина фаски h_3 , при превышении которой наступает стадия установившегося изнашивания.

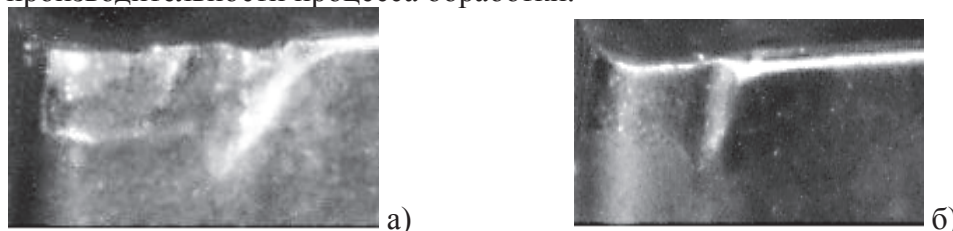
Следует отметить, что на стадии приработочного изнашивания технологическая среда (активированный воздух) выполняет свои функции полностью, т.е. снижает термомеханические нагрузки на контактной площадке инструмента, чрезвычайно эффективно тормозит изнашивание задней поверхности.

В результате испытаний было получено, что износостойкость режущего инструмента при чистовом точении с активированным воздухом выше в 2 раза, чем с СОТС (марка ЭГТ) и соответственно в 1,8 раз выше исходных пластин.

Также можно отметить изменение структуры стружки в процессе обработки. При обычном резании стружка имеет форму в виде сплошной спирали, что опасно для человека, а при различных видах СОТС – имеет дисперсное состояние, что безопасно для рабочего.

При этом физико-химический механизм действия охлажденного активированного воздуха обусловлен изменением условий взаимодействия режущего клина инструмента с обрабатываемым материалом, что выражается, прежде всего, в изменении изнашивания рабочих поверхностей инструмента (рисунок 3). В этом случае физико-механический механизм износа следует рассматривать как взаимодействие поверхностей, которое сопровождается механическим, адгезионным и диффузионным взаимодействием. Изменяются механические свойства, структура, фазовый состав и химическая активность поверхностных слоев и в результате качество изготовленной детали. Это определяют металлоструктурные процессы, в том числе газовыделение и поглощение [7-8].

Исследования показали целесообразность замены смазочно-охлаждающей жидкости и сжатого воздуха на озонированный воздух, что положительно влияет на стойкость резца и повышение производительности процесса обработки.



**Рисунок 3. Характер разрушения режущей кромки при точении стали 45:
 $v = 110$ м/мин; $S = 0,175$ мм/об; $t = 1,0$ мм. Матрица IS20; $h_3 = 0,45$ мм;
 а) IS20 без СОТС б) IS20 – активированный воздух.**

В процессе резания инструмент и заготовка контактируют по «физически чистым» поверхностям; при этом происходит взаимное притяжение частиц по поверхностям раздела, обусловленное молекулярными силами. Если величина этих сил сопоставима с силами связей в кристаллической решетке, то наблюдается «слипание» тел – адгезия. Помимо этого на контактных поверхностях протекают процессы адсорбции, а также активные химические процессы.

Адсорбция существенно влияет на активность воздушной среды, что обусловлено формированием вблизи поверхности тела инородных частиц. Часть избыточной энергии расходуется на связывание частиц, и поверхностная энергия тела уменьшается, т.е. наблюдается адсорбция. Она бывает двух видов: физическая, определяемая силами взаимодействия Ван-дер-Ваальса, и химическая, т.е. в случае химической реакции между активной частью молекул адсорбата и молекул твердого тела (хемосорбция). Граничные адсорбированные слои на поверхностях обладают большой механической прочностью и способны выдерживать без разрушения высокие давления – до 10^6 МПа. Зависимость адсорбции на поверхности от температуры описывается уравнением Гиббса[9]:

$$\Gamma_s = - \frac{C}{RT} \frac{d\sigma}{dC},$$

где: C – равновесная концентрация адсорбата в объеме фазы, граничащей с адсорбирующей поверхностью, моль/м³; σ – удельная поверхностная энергия адсорбента, Дж; R – газовая постоянная, Дж/кгмоль·град.; T – температура, К.

При резании металлов активные в химическом отношении поверхности резца и стружки вступают в химическую реакцию с компонентами технологической среды, в результате чего образуются защитные пленки, экранирующие силы адгезии между ювенильными по-

верхностями. Их защитные свойства обнаруживаются в тех случаях, когда пленки выдерживают удельные нагрузки, не разрушаясь, и, соответственно, блокируют адгезионные связи. Известно, что даже при вакууме воздушной среды 10^{-5} Па незначительная концентрация кислорода достаточна для образования мономолекулярных защитных слоев, тогда и проявляется действие окисных пленок. В результате неравномерного распределения температуры и удельных давлений по длине контакта на различных участках передней поверхности образуются окислы, сульфиды, хлориды металлов. На участках, непосредственно примыкающих к режущей кромке, образуются пленки сульфидов, хлоридов, а в точках отрыва стружки от резца – окислы металлов [10].

Воздушная атмосфера наиболее благоприятна с точки зрения ускорения химических реакций и образования защитных пленок, так как из воздуха в первую очередь адсорбируется кислород, имеющий более высокую температуру кипения (90 К), а затем азот (77 К). Атомы кислорода образуют с атомами металла прочные химические связи. В соответствии с гипотезой Кабрера и Мотта ионы и электроны в химически адсорбированной пленке движутся независимо друг от друга. Механизм роста тонких окисных пленок состоит в переходе через тонкий молекулярный слой электронов металла кислороду. Критическая толщина тонких пленок по расчету Кабрера составляет $2 \cdot 10^{-4}$ см. Влияние температуры на скорость химических реакций очень велико. Среднее время нахождения молекулы на поверхности резца в зависимости от температуры резания можно определить по формуле:

$$\tau = \tau_0 e^{Q/RT}$$

где: τ – время молекулярного колебания ($10^{-13} \div 10^{-12}$ с); e – основание натурального логарифма; Q – теплота адсорбции, составляющая 8000 – 42000 Вт/моль при физической адсорбции; R – газовая постоянная, Дж/кг·моль·град.; T – температура, К.

Активация воздуха электрическим разрядом, непрерывным разрядом коронного типа, приводит к ионизации воздуха и насыщению его озоном. Озон (O_3), являясь сильным окислителем, попадая на поверхность металла, приводит к образованию окисной пленки. Роль коронного разряда в осуществлении реакции на поверхности заключается в переносе к ней всех новых пропорций газа и сообщении молекулам дополнительного барьера. Защитными свойствами обладают только оксиды (плотные), имеющие коэффициент объема (фактор Пиа-линга-Бедвортса) в пределах 1- 2,5 [11]:

$$\alpha = \frac{M_{Me_xO_y} \cdot \rho_{Me}}{x \cdot A_{Me} \cdot \rho_{Me_xO_y}},$$

где: $M_{Me_xO_y}$ – молекулярная масса пленки; $\rho_{Me_xO_y}$ – плотность окисла; A_{Me} – атомная масса металла; ρ_{Me} – плотность металла; x – число атомов металла, входящих в молекулу окисла.

Активная защитная роль окисных пленок на контактных поверхностях в большей степени определяется контактной температурой. Между толщиной пленки и температурой существует определенная зависимость.

Коронный разряд ионизирует воздух и способствует насыщению его озоном, обеспечивает преодоление атомами и молекулами среды потенциального барьера, препятствующего их взаимодействию с поверхностью металла в зоне контакта при резании. Кинетическая и потенциальная энергия частиц технологической среды при активации может достигать величин, при которых ослабляются или разрываются внутримолекулярные связи в молекуле технологической среды. Вследствие этого образуются компоненты, усиливающие эффект химического смазывания при резании. Технологическая среда переходит в некоторое метастабильное состояние (активизированный комплекс), характеризующееся повышенной способностью проникать на контактные поверхности и образовывать химические смазывающие пленки.

Охлажденный активированный воздух, подаваемый под давлением в зону резания в качестве СОТС, позволяет повысить защитную роль пленок, а самой среде придать некоторую

универсальность. Изменяя температуру, давление, концентрацию ионов, молекул, всегда можно добиться положительного эффекта для любого сочетания обрабатываемого и инструментального материалов и параметров режима резания.

Любое изменение температуры и давления в зоне резания приводит к значительному изменению теплоемкости газа, а следовательно, и к увеличению или снижению эффективности охлаждения зоны резания.

Применение активированного воздуха приводит к устойчивому стружкодроблению, в отличие от сливной «путаной» стружки, формирующейся при традиционных методах обработки. Экономически эффективность этого принципиально нового метода обработки обусловлена сокращением затрат на инструмент и эксплуатацию оборудования. При этом следует отметить, что резание с использованием активированной среды коренным образом улучшает санитарно-гигиенические условия для обслуживающего персонала.

Из вышесказанного можно выделить следующее:

1. Охлажденный активированный воздух обладает значительно большей по сравнению с жидкостями проникающей способностью, оказывает существенное влияние на процессы контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемого материала, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов. Универсальность технологии технологической среды заключается в одновременном ее воздействии как на окислительные процессы, так и на химическую кинетику реакций в зоне резания за счет возможности варьирования расходом давлением подвода газовой среды и подачей коронного разряда.
2. Применяемая технология обеспечивает повышение стойкости режущего инструмента в большом диапазоне параметров режима резания по сравнению с обработкой без СОТС, и даже с применением СОТС разных марок.
3. Вышеизложенное позволяет рекомендовать этот метод для широкого промышленного внедрения.

Литература

1. Максимов Ю.В. Обеспечение качества обработки плунжеров автотракторных гидроцилиндров. Журнал «Вестник машиностроения» № 3, 1999, с. 25-27.
2. Максимов Ю.В., Азаревич Г.М., Логинов Р.В. Высокоточная финишная обработка гладких крупногабаритных валов. Журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение», № 7, 1999, с. 41-44.
3. Чекалова Е.А., Власов В.И. «Повышение эффективности быстрорежущего инструмента путем применения ионизированного воздуха» Сборник трудов конференции «Международная конференция» «Производство, технология, экология 2003» Москва. МГТУ «Станнин» 2003. с. 666-667.
4. Чекалова Е.А., Гурин В.Д. Механическая обработка с охлаждением озонированной средой. Журнал «Вестник машиностроения» № 10. Москва. 2004. с. 49-50.
5. Чекалова Е.А. Повышение износостойкости инструмента и основные аспекты проблемы экологии в машиностроении. М., Журнал «Технология машиностроения» № 1. 2005. с. 26-27.
6. Чекалова Е.А., В.Д. Гурин, В.И. Власов. Разработка технологии механической обработки с использованием озонированной среды. Санкт-Петербург. Журнал «Металлообработка» № 5. 2005. с. 6-7.
7. Чекалова Е.А., Ромина Н.Н. Экологически чистая технология в машиностроении. М., Журнал «ИТО: инструмент-технология-оборудование» № 3. 2008. с. 12-16.
8. Чекалова Е.А. Высокоэффективная технология механической обработки с использованием озонированной среды. М., Машиностроение. «Справочник. Инженерный журнал» № 8. 2005. с. 31-32.
9. Робертс М., Макки Ч. Химия поверхности раздела металл-газ. М.: Мир. 1981. с. 359.
10. Смазочно-охлаждающие средства для обработки металлов резанием. Под ред. С.Г. Энтилиса. Э.М. Берлинера. М.: Машиностроение. 1986. 352 с.
11. Материаловедение. Под ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение. 1986. 394 с.