

Экологически чистая газодинамическая обработка поверхности детали с целью повышения качества

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

Университет машиностроения, МГТУ «Станкин»

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

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы влияния энергетических критериев процесса обработки на формирование качества поверхностного слоя деталей. Представлены результаты обработанной поверхности за счет экологически чистой газодинамической обработки.

Ключевые слова: качество поверхностного слоя, энергия деформирования, плотность дислокаций

Повышения качества выпускаемых изделий можно достичь путем обеспечения определенных эксплуатационных свойств, которые зависят как от состояния структуры материала, так и от параметров состояния поверхностного слоя детали. В процессе резания происходит взаимодействие инструмента с материалом обрабатываемой детали, что сопровождается сложным комплексом физико-химических явлений, а именно поверхностный слой подвергается упругопластическому деформированию. Состояние поверхностного слоя – основной фактор, подчеркивающий дефекты готовой продукции [1, 2].

При механообработке происходит деформация, которая приводит к увеличению дефектов в кристаллической решетке металла, вызывая, с одной стороны, упрочнение, с другой – условия для разрушения. Одним из важных параметров дислокационной структуры является плотность, которая накапливается в материале в процессе его деформации. По мере его накопления происходит эволюция дислокационной структуры, что приводит к повышению энергетического уровня металла и изменению его физико-механических и теплофизических свойств.

В результате пластической деформации происходит изменение параметров решетки и увеличение внутренней энергии. Следовательно, можно сказать, что изменение свойств металла при деформировании обуславливается изменением его внутренней энергии.

Важное научное и практическое значение имеет исследование взаимосвязи между количественными характеристиками сформированной дислокационной структуры металла и его прочностью. Эта взаимосвязь основана на различных моделях деформационного упрочнения, подробно исследованных в теории дислокаций. Так, по Г. Тейлору, деформационное упрочнение обусловлено накоплением дислокаций в решетке. А. Зегер считает, что основным препятствием развитию скольжения при деформационном упрочнении являются образующиеся в результате множественного скольжения своеобразные сидячие дислокации, а блокировка источников определяется обратным напряжением от групп (скоплений) заторможенных дислокаций [3]. Н.Ф. Мотт и П.Б. Хирш предположили, что величина напряжения течения в области деформационного упрочнения определяется движением порогов на винтовых дислокациях, число которых, в свою очередь, зависит от плотности дислокаций. Связь между напряжением и плотностью дислокаций при небольшой степени искаженности кристаллической решетки описываются следующим соотношением:

$$\sigma = \sigma_0 + \alpha G b \sqrt{\rho}, \quad (1)$$

где: σ – напряжение, необходимое для движения дислокаций; σ_0 – предел текучести материала; G – модуль сдвига; b – вектор Бюргерса; ρ – плотность дислокаций; α – численный коэффициент, зависящий от механизма упрочнения.

Зная механические характеристики материала (предел текучести, модуль сдвига), параметры кристаллической решетки (вектор Бюргерса), изменение напряжения течения в процессе деформирования, а также задавшись коэффициентом α , можно найти плотность дислокаций. И, наоборот, зная плотность дислокаций, нетрудно определить предел текучести упрочненного материала. Изменение напряжения течения по глубине деформированного объе-

ма можно связать с изменением твердости материала по глубине.

При механообработке всю энергию, поглощенную металлом при пластической деформации, можно рассматривать как энергию дислокаций, а теория дислокаций позволяет провести количественную оценку энергии дислокации, под которой понимается упругая энергия кристалла, приходящаяся на единицу длины дислокации. Следовательно, энергия деформируемого материала в текущий момент времени складывается из потенциальной энергии собственно дислокаций и кинетической энергии упругих смещений атомов кристаллической решетки [4].

Данная энергия по данным разных авторов составляет всего около 0,5 – 3% от работы резания, тем не менее именно эта часть энергии, вносящая изменение в энергию межатомных слоев стружки, детали и инструмента. Анализ существующих исследований позволил прийти к выводу, что более глубокое изучение механизма формирования структуры и качества поверхностного слоя деталей в процессе обработки возможно с использованием структурно-энергетических параметров, и в частности скрытой энергии деформации. Использование этого параметра позволяет учитывать сложность явлений (механических, физических, термодинамических и др.), протекающих в области контакта инструмента и детали, а также позволяет управлять параметрами состояния поверхностного слоя при механической обработке.

Интенсивность деформации зависит от скорости механической обработки, а также от внутренних напряжений, интенсивности и температуры.

Для снижения внутреннего напряжения, формирующегося в зоне обработки между обрабатываемым и инструментальными материалами, отдают предпочтение покрытию, которое повышает работоспособность инструмента благодаря твердой структуре за счет модифицирования легирующими элементами. В этой связи результаты влияния структуры на работоспособность инструмента зависят от сбалансированности величин предела текучести σ_T и коэффициента трещиностойкости K_{IC} .

В соответствии с дислокационной теорией пластическая деформация и разрушение являются функцией таких параметров, как σ_n – напряжение трения кристаллической решетки; σ_d – упрочнение увеличением числа дефектов решетки (вакансий, дислокаций); σ_p – упрочнение растворенными атомами; σ_ϕ – упрочнение дисперсными фазами, имеющимися или специально созданными в структуре покрытия; σ_z – упрочнение микроструктурными барьерами на пути движения дислокаций в виде границ зерен, границ двух фаз, узких прослоек второй фазы.

Повышение напряжения трения решетки матрицы σ_n может привести к росту σ_T , однако одновременно резко снижается критическое напряжение разрушения. Напряжение σ_n сильно зависит от типа связи и увеличивается с усилением доли ковалентности в межатомной связи. Торможение дислокаций более эффективно при снижении температуры, что необходимо учитывать при оценке влияния параметра σ_n на прочность покрытий. Покрытия, получаемые физическим осаждением при использовании вакуумно-дуговых процессов, имеют число дислокаций, близкое к критическому ($\sim 10^{16} \text{ м}^{-2}$), поэтому упрочнение σ_d , связанное с увеличением их числа, практически не осуществимо. Упрочнение дисперсными фазами σ_ϕ также является перспективным механизмом повышения прочности износостойких покрытий [5].

Установлено, что упругопластическое деформирование режущего клина инструмента с покрытием связано с сильной трансформацией контактных процессов, в частности контактных напряжений и температур в зоне контакта и режущей части инструмента.

Разрушение покрытий в процессе резания начинается с образованием в них трещин, возникновение которых связано в зависимости от условий резания с упругопластическими деформациями режущего клина режущего инструмента, колебаниями температур и силовых нагрузок, возникающих в процессе резания.

Для компенсации негативных аспектов трансформации контактных процессов, в частности снижения упругопластической прочности инструмента, предлагается формирование упрочняющего слоя непосредственно в зоне обработки [6].

Для этого была разработана технология, которая позволила перераспределить направ-

ленность и интенсивность тепловых потоков и приводит к снижению энергетических затрат на процесс резания. Кроме этого, происходит формирование антифрикционных пленок на режущей кромке инструмента, которые уменьшают адгезионную активность инструментального материала, снижают трение, мощность фрикционных источников тепла, термомеханические напряжения и уменьшают интенсивность изнашивания контактных площадок инструмента.

В результате чего формируются дискретные типы стружек, наиболее удобные для транспортировки из зоны резания.

Разработанный технологический процесс позволяет обрабатывать разную номенклатуру инструмента как с покрытием, так и без покрытия.

Важным элементом разработанной системы резания является технологическая среда, в качестве которой используют воздух, проходящий через коронный разряд. Введение активированного воздуха в зону резания компенсирует охлаждающий, смазочный и пластифицирующий эффект, возникающий в процессе резания при использовании СОТС. Воздушная масса, проходя непосредственно через зону резания, увеличивает коэффициент массопередачи, вследствие чего происходит замена молекулярной диффузии на конвективную, что заметно повышает теплоотдачу системы резания в окружающую среду и приводит к ее охлаждению. В результате температура в зоне контакта режущего клина инструмента и обрабатываемого материала снижается за счет увеличения количества заряженных частиц ионов, т.е. происходит быстрый процесс пассивации [7-10].

Физико-химический механизм охлаждения заряженными частицами ионов воздуха обусловлен изменением условий взаимодействия режущего клина инструмента с обрабатываемым материалом. В результате происходит изменение в изнашивании рабочих поверхностей инструмента. В этом случае физико-химический механизм износа следует рассматривать как механическое, адгезионное и диффузионное взаимодействие поверхностей, в результате которого изменяются механические свойства, структура, фазовый состав и химическая активность поверхностных слоев.

Кинетическая энергия технологической среды определяет ее проникающую способность и может быть определена следующей зависимостью:

$$W_k = W_i + eZU_c, \quad (2)$$

где: W_i - исходная энергия элементов активированного воздушного потока; eZ – кратность зарядности иона элементов технологической среды; U_c – величина отрицательного потенциала катода при возбуждении коронного разряда.

Анализ формулы (2) позволяет отметить, что проникающая и реакционная способности активированной воздушной среды зависят от степени зарядности, количества и энергии ионов.

Часть избыточной энергии ионов W_i расходуется на связывание частиц, что ведет к уменьшению поверхностной энергии вновь образованных поверхностей, т.е. наблюдается адсорбция. Граничные адсорбционные слои на поверхности обладают большой механической прочностью и способны выдержать без разрушения высокое давление порядка 10^6 МПа, причем зависимость адсорбции от температуры можно описать уравнением Гиббса

$$\Gamma_s = - C/RT(d\sigma/dC), \quad (3)$$

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

Технологическая среда способствует интенсификации химических процессов, так как содержит чрезвычайно активные и подвижные ионы, активные молекулы, атомы и радикалы, взаимодействующие с поверхностью инструментального материала. Поэтому термодинамически наиболее вероятны первоначально реакции образования окислов, затем нитридов, карбидов и их смесей.

В соответствии с гипотезой Кабрера и Мота ионы и электроны в химически адсорбированной пленке движутся независимо друг от друга. Механизм формирования тонких окисных

пленок состоит в переходе через тонкий мономолекулярный слой электронов металла к кислороду с очень высоким влиянием температуры на скорость роста пленок, которые достигают критической толщины (по прочности) при значениях $2 \cdot 10^{-4}$ см.

Для повышения качества поверхностного слоя была использована технология, которая является экологически чистой, поскольку в качестве технологической среды использован активированный воздух. Были проведены исследования по точению стали 45 твердосплавным инструментом с покрытием. В качестве режущего инструмента - твердосплавные пластины IS3028 фирмы «ISKAR» с покрытием (TiN-TiCN). В качестве СОТС – «Москвинол». Критерием затупления служил износ по задней поверхности инструмента. Анализ сравнительных результатов исследований показан на рисунке 1. Для установления особенностей кинетики изнашивания инструмента были использованы кривые зависимости износ от времени $h_3 = f(\tau)$.

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

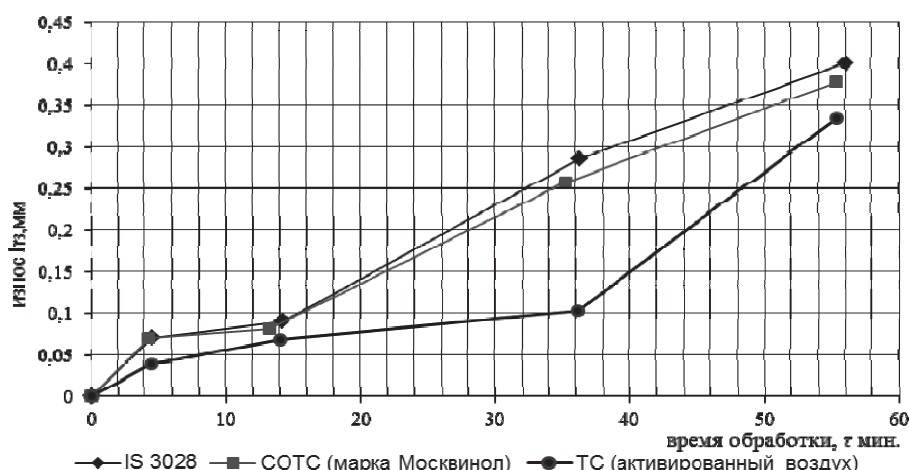


Рисунок 1. Обобщенные кривые $h_3 = f(\tau)$ твердосплавных пластин IS3028 - (TiN - TiCN) фирмы «ISKAR» при продольном точении стали 45 (HB180):
 $v = 150$ м/мин; $s = 0,2$ мм/об; $t = 1$ мм

В результате испытаний было получено, что износостойкость режущего инструмента при точении с активированным воздухом выше в 2 раза, чем с СОТС (марка Москваинол) и соответственно в 2,5 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.

Немаловажным критерием для сравнительной оценки различных факторов, оказывающих непосредственное влияние на характер процесса резания, является шероховатость обработанной поверхности. При одинаковых условиях механообработки были получены результаты исследований шероховатости, которые показали значительное снижение шероховатости при активированном воздухе по сравнению с применением СОТС – значения R_a равнялись 0,73. и 2,4 мкм соответственно (рисунок 2).

Проведенные измерения (рисунок 2) показали, что шероховатость при резании за счет активированного воздушного потока в 2-2,5 раза меньше, чем при СОТС.

Проведенные исследования установили, что при применении в качестве СОТС воздуха, активированного электрическим разрядом, эффективность при резании различных материа-

лов увеличивается за счет варьирования факторов процесса.

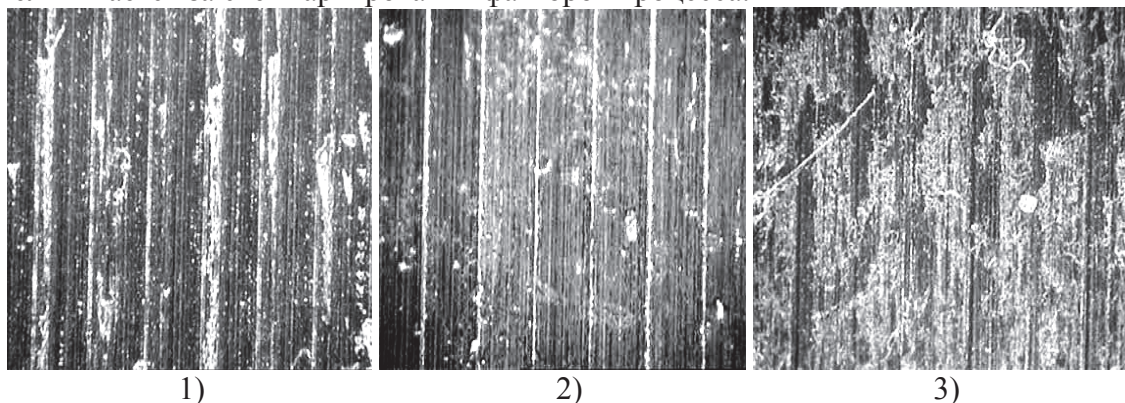


Рисунок 2. Шероховатость обработанной поверхности стали 45 (180HB) твердосплавными пластинами IS3028 - (TiN-TiCN): 1- обработка активированным воздухом; 2 – обработка COTS; 3 – обработка исходной пластиной IS3028 - (TiN-TiCN)

Из вышесказанного можно отметить, что:

процессы образования химических смазочных пленок протекают по механизму радикально-цепных реакций с участием свободных радикалов и ион-радикалов, инициируемых особым состоянием вновь образованных (ювенильных) поверхностей, приводящих к возникновению эффекта экзoeлектронной эмиссии металлов Крамера-Грюнберга [11];
уменьшение напряжений сдвига на передней поверхности;
снижение температуры в зонах стружкообразования и контакта ОМ и ИМ, режущем клине инструмента, зонах формирования обработанных поверхностей деталей;
снижение интенсивности изнашивания инструмента;
уменьшение шероховатости, снижение уровня остаточных напряжений растяжения;
на поверхностях формируются нитридные, карбидные, оксинитридные, карбонитридные и оксикарбидные пленки, обладающие соотношением «твердость – прочность» по сравнению с окисными и нитридными пленками, полученных при покрытии. Кроме того, кинетическая и потенциальная энергия элементов газовой среды (воздух) при их активации коронным разрядом достигает величины, при которой ослабляются или разрываются связи в молекулах с образованием весьма активных атомов и радикалов, что приводит к эффектам «химического смазывания» при резании.

Поэтому разработанную технологию можно рассматривать как некий активированный комплекс с проникающей способностью и возможностью формирования высокоустойчивых химических и физических пленок, адаптированных под уровень энергетического воздействия, соответствующих условиям процесса резания. Применение данной технологии может служить основой для создания высокоэффективной технологии резания, не уступающей резанию с COTS.

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. Драпкин Б.М., Кононенко В.К., Безъязычный В.Ф. Свойства сплавов в экстремальном состоянии. М.: Машиностроение. 2004. с. 177-202.
4. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов. М.: Машиностроение. 1979. с. 86-89.
5. Верещака А.С., Табаков В.П., Григорьев С.Н. Методологические принципы создания функциональных покрытий нового поколения для применения в инструментальном производстве. Справочник. Инженерный журнал. № 12. 2011. с. 13-22.
6. Чекалова Е.А., В.Д. Гурин, Власов В.И. 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. Чекалова Е.А., Гурин В.Д. Механическая обработка с охлаждением озонированной средой. М. Журнал «Вестник машиностроения» № 10. 2004. с. 49-50.
 10. Чекалова Е.А. Повышение износостойкости инструмента и основные аспекты проблемы экологии в машиностроении. М. Журнал «Технология машиностроения» № 1. 2005. с. 26-27.
 11. Гольдштейн М.И., Литвинов В.С., Бронфин Б.М. Металлофизика высокопрочных сплавов. М.: Металлургия. 1986. с. 197.

Преимущества использования устройства для комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием с регламентированным усилием обкатывания роликами при обработке нежестких деталей типа полый цилиндр

Ветрова Е.А., Лебедев П.А., Адеев А.С.
Университет машиностроения
8(495)223-05-23, доб. 1321

Аннотация. Использование устройства для комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием с регламентированным усилием обкатывания имеет большие преимущества при обработке нежестких деталей типа полый цилиндр.

Ключевые слова: комбинированная обработка, регламентированное усилие обкатывания, нежесткие цилиндрические детали, устройство для комбинированной обработки, точность обработки

Как известно, в тракторостроении, сельскохозяйственном, дорожностроительном и других производствах для работы с навесными механизмами широко используются гидро- и пневмоцилиндры. Одной из особенностей является нежесткость штоков цилиндров из-за большого соотношения диаметрального и линейного размеров, что оказывает негативное влияние на результаты обработки [3, 4]. Проводимые ранее исследования [3, 4] показали, что при изготовлении корпусов и штоков нежестких полых цилиндров в технологических процессах наиболее выгодно использовать устройства для комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием (ППД), поскольку комбинированная обработка в данном случае дает выигрыш в производительности, высокие показатели точности обработки (8-9 квалитет) и хорошую шероховатость обработанной поверхности ($R_a = 0.08...0.32 \text{ мкм}$).

Усилие деформирования при обкатывании определяется исходя из величины сминаемого деформирующими элементами слоя металла. Однако во всех ранее известных разработках устройств для комбинированной обработки резанием и ППД не решена проблема создания оптимального натяга деформирующих роликов при обкатывании предварительно проточенных поверхностей. Иными словами, усилие обкатывания не является регулируемым параметром, а определяется размером заготовки, который изменяется при обточке из-за износа режущих элементов, и размером настройки роликов по направляющей части поддерживающего центра. Это приводит к тому, что возникают различия в радиальном усилии обкатывания, а следовательно, и в осевой силе воздействия на обрабатываемую заготовку из-за разницы размеров заготовок после обтачивания. Кроме того, обкатывающие ролики, выполняя роль под-