

Повышение эффективности процессов обработки инструментами с ПСТМ на основе КНБ

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины

Представлены подходы к повышению эффективности процессов обработки резанием. Они представляют собой примеры эффективного решения важной научной и прикладной проблемы, особенно для инструментов с ПСТМ на основе КНБ, характеризующихся высокой стоимостью.

Ключевые слова: трибосистемы, режущий инструмент, обрабатываемый материал, срезаемый слой.

Повышение эффективности процессов обработки резанием, в том числе инструментами с ПСТМ на основе КНБ представляет значительный интерес как с точки зрения практического использования, так и с научных позиций.

Эффективность механической обработки во многом определяется явлениями на контактных участках «инструмент–обрабатываемый материал». В направленном воздействии на эти явления и заключаются перспективы повышения эффективности процессов обработки резанием.

С учетом явления самоорганизации в трибосистемах [1] авторами работы [2] предложены такие положения для повышения их эффективности:

- создание условий, когда трибосистема не выходит в область высокой неустойчивости, сопровождающейся глубинным разрушением материалов;
- переход из неравновесного термодинамического состояния в стационарное равновесное должен реализоваться с ускоренным образованием выгодного состояния поверхностного слоя материалов;
- достижение самоорганизации системы с переходом в устойчивое состояние при минимальных потерях на трение и наименьшей величине износа;
- предусмотрение желательного направления пластической деформации, локализованного в поверхностном слое;
- состав и свойства контактирующих материалов должны выбираться исходя из параметров эксплуатационного нагружения.

С учетом изложенного выше возможные пути повышения эффективности процессов механической обработки могут быть условно разделены на три группы:

1. Изменение свойств обрабатываемого материала.
2. Управление закономерностями процесса резания.
3. Изменение свойств материала режущего инструмента.

Первая группа воздействий охватывает мероприятия, позволяющие понизить механические свойства обрабатываемого материала. К ним можно отнести криогенное резание, обработку с предварительным нагревом срезаемого слоя, резание предварительно деформированного слоя и другие методы обработки, связанные с дополнительным, предваряющим процесс резания, воздействием на обрабатываемый материал.

Методы второй группы включают в себя снижение динамичности процесса резания путем повышения жесткости или демпфирующей способности режущего инструмента, выбор режимов резания на основании учета свойств и структуры защитных покрытий, управление параметрами контактирования инструмен-

тального и обрабатываемого материалов использованием СОТС, специальной геометрии режущего инструмента и т.д.

К третьей группе воздействий относятся методы повышения прочности и износостойкости режущего инструмента, включающие в себя технологии термической и химико-термической обработки, различных способов упрочнения, создание новых инструментальных материалов.

Рассмотрим некоторые направления повышения эффективности процессов обработки инструментами с ПСТМ на основе КНБ.

Обработка с предварительным нагревом срезаемого слоя. Для обеспечения процесса резания и повышения работоспособности инструмента применяют различные способы нагрева. В идеальном способе должно обеспечиваться разупрочнение обрабатываемого материала только в зоне стружкообразования и только на глубину резания во избежание структурных изменений от воздействия высокой температуры. Источник тепла должен обладать высокой удельной теплотворной способностью, чтобы обеспечить быстрый нагрев обрабатываемого материала. Важным требованием являются регулирование температуры нагрева, надежность контроля и постоянство заданной температуры нагрева, так как наибольший эффект наблюдается в довольно узком интервале оптимальных температур, обеспечивающем максимальную стойкость инструмента и производительность обработки. Способ нагрева должен отличаться также простотой монтажа оборудования и обеспечивать безопасность обслуживающего персонала.

Этому комплексу требований в значительной степени отвечает предварительный нагрев срезаемого слоя плазменной дугой.

Наибольшее распространение при обработке с нагревом получил инструмент из твердого сплава, однако опыт показывает, что предварительный нагрев может эффективно использоваться и с инструментом из ПСТМ на основе КНБ [3].

При введении в зону резания тепла извне температура является самостоятельным фактором, влияющим на процесс обтекания обрабатываемым материалом режущих кромок инструмента. Дополнительный нагрев изменяет характер стружкообразования, протекание контактных явлений на передней и задней поверхностях инструмента. Как следствие, применение предварительного нагрева срезаемого слоя существенно изменяет закономерности формирования всех параметров состояния поверхностного слоя, сформированного в процессе обработки.

Обработка с использованием СОТС. Одной из возможностей воздействия на работоспособность инструмента является использование различных смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС), оказывающих комбинированное смазочно-охлаждающее действие, снижая температуру и уменьшая фрикционное взаимодействие в зоне резания. Среды могут влиять и на химические процессы, сопровождающие обработку. Различные среды могут как усиливать взаимодействие, так и являться ингибиторами этих реакций или же принципиально изменять механизм контактирования.

Газовая азотная среда, оказывая влияние на химические особенности контактирования в процессе резания, позволяет повысить стойкость режущего инструмента с ПСТМ на основе КНБ в 1,6 раза при низкой скорости резания и до 3 раз при скорости резания более 3 м/с.

Учитывая особенности инструмента с ПСТМ на основе КНБ целесообразно использование подачи жидкой СОТС не поливом, а распылением. Применение

распыленных СОТС рекомендуется при скоростях резания до 1,7 м/с. Указанные скорости резания соответствуют обработке закаленных сталей, высокотвердых чугунов, наплавленных и напыленных покрытий.

Большой эффект может быть достигнут за счет применения в СОТС присадок для сверхвысоких давлений [4]. Благодаря реакции с КНБ, приводящей к образованию пленки твердой смазки на поверхности инструмента, они предотвращают охрупчивание КНБ под воздействием термоциклирования при нагреве поликристалла в процессе резания и последующем охлаждении в жидкой среде или атмосфере воздуха. К таким присадкам относятся сера и хлор.

Термохимическая обработка материала инструмента. Термическая обработка инструментальных материалов позволяет за счет изменения их физико-механических свойств существенно повысить работоспособность режущего инструмента. При этом наряду с режимами термообработки – температурой нагрева, временем выдержки и программой нагрева – большое значение имеет среда, в которой выполняется обработка. Применительно к термообработке поликристаллов на основе КНБ среда должна обеспечивать отсутствие или минимизацию появления в обрабатываемом материале фазовых составляющих, которые в определенных условиях эксплуатации инструмента могут снижать его работоспособность. В частности, среда должна выполнять роль защитного слоя, связывающего кислород и не позволяющего ему вступать во взаимодействие с элементами, входящими в состав поликристалла и обеспечивающего снижение концентрации борного ангидрида В2О3 в материале.

Лазерная и магнитная обработка материала инструмента. Для многих инструментальных материалов использование таких методов, как лазерная упрочняющая обработка, магнитное упрочнение дает значительное увеличение работоспособности в условиях резания. Повышение износостойкости инструмента с ПСТМ на основе КНБ, обработанного в магнитном поле, при точении напыленных покрытий системы Ni-Cr-B-Si составляет 40...50 %.

Создание новых инструментальных материалов. Разработка и создание инструментальных материалов должны базироваться на результатах исследований процесса резания – имея данные об особенностях протекания процесса обработки конкретного конструкционного материала, можно предложить лучший инструментальный материал для его эффективной обработки.

При создании материала для режущего инструмента необходимо учитывать особенности механического и физико-химического взаимодействия в зоне резания.

В зоне резания инструментом с ПСТМ на основе КНБ происходит химическое взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов между собой, а также с элементами окружающей среды, приводящее к образованию на контактных участках инструмента соединений типа МехВу, МехВуОz, формированию на их основе и контактному плавлению эвтектик типа Ме-МехВу, Ме-МехВуОz с последующим удалением жидкой фазы из зон контакта [5].

Для управления процессом взаимодействия в состав технологической среды, поликристалла или защитного покрытия на нем предлагается вводить вещества, являющиеся ингибиторами реакций взаимодействия инструментального материала с обрабатываемым и элементами окружающей среды или сдвигающие протекание указанных реакций в более высокотемпературную область, что позволяет увеличить производительность обработки изделий за счет роста скорости резания и повысить стойкость режущего инструмента.

Защитные покрытия на режущих инструментах. Наличие на контактных поверхностях инструмента защитных покрытий приводит к коренному

изменению механики и физикохимии контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемого изделия. Первое предопределяется перераспределением напряжений на поверхностях инструмента, изменением коэффициента трения и, как следствие, сил и температуры резания. Второе связано с тем, что для обеспечения наиболее оптимальных условий работы режущего инструмента в каждом конкретном случае должно выбираться такое покрытие, которое обеспечивает минимизацию или отсутствие эффектов, оказывающих наибольшее отрицательное влияние на работоспособность режущего инструмента. Например, для минимизации изнашивания инструментов с ПСТМ на основе КНБ за счет снижения интенсивности окислительных процессов – с покрытием Al_2O_3 , химического взаимодействия с обрабатываемым материалом – с покрытием NbN.

Снижение динамичности процесса резания. Случайные воздействия на режущий инструмент, связанные с неравномерностью припуска на обработку и изменением механических свойств обрабатываемого материала, жесткостью оборудования приводят к возникновению собственных колебаний в технологической системе. Существует несколько путей борьбы с вибрациями:

1. Разработка и использование виброгасящих устройств.
2. Разработка виброустойчивых зон условий резания.
3. Разработка виброустойчивого режущего инструмента за счет увеличения жесткости или повышения демпфирующей способности.

Увеличение жесткости инструмента с ПСТМ может быть реализовано путем надежного закрепления режущей пластины в державке или создания в державке инструмента предварительных напряжений, противоположных по знаку напряжениям, возникающим в ней в процессе резания. Повышение демпфирующей способности инструментов связано с использованием в их державках соответствующих материалов.

Учет структурных особенностей и свойств обрабатываемых материалов. Процесс обработки должен вестись так, чтобы с изделия удалялись более дефектные слои материала, а к обработанной поверхности прилегали наиболее твердые, прочные и однородные его участки. Следствием этого является повышение работоспособности инструмента, определяемое снижением динамических нагрузок на режущее лезвие, получение меньшей шероховатости обработанной поверхности и возрастание эксплуатационных характеристик изделий.

Для определения глубины резания, отвечающей рассмотренным условиям при тчении газопламенных порошковых покрытий системы Ni–Cr–B–Si, предложено неравенство

$$(0,54 - 2,45 \cdot 10^{-3} HRC)h \leq t \leq (0,54 - 2,16 \cdot 10^{-3} HRC)h,$$

где h и HRC – толщина и твердость покрытия.

Учитывая гетерогенность структуры и свойств некоторых конструкционных материалов, их различие для деталей даже одной партии, большое значение имеет разработка способов определения оптимальных условий обработки, позволяющих оценивать параметры режима резания для каждой отдельно взятой детали. Такую оценку можно провести на основании данных деформационно-спектрального анализа.

Величина дисперсии силы контактного взаимодействия индентора с исследуемой поверхностью определяет S –энергетическая спектральная плотность распределения силы контактного взаимодействия. Соотношение таких величин для контактирующих материалов позволяет оценить их взаимовлияние в паре трения.

По величине соотношения S_1/S_2 можно оптимизировать условия контактирования пар трения с близкими механизмами износа. В частности, для точения напыленных покрытий системы Ni-Cr-B-Si инструментом с ПСТМ

$$v_{opt} = 2,14(S_u / S_o)^{1,404} e^{-0,024(S_u / S_o)},$$

где v_{opt} – скорость резания, соответствующая минимальному износу инструмента; S_u и S_o – максимальная величина энергетической спектральной плотности силы контактного взаимодействия с индентором соответственно для инструментального и обрабатываемого материалов.

Оптимизация условий обработки. Применительно к технологическим задачам основной целью оптимизации является обеспечение двух главных критериев: максимальной производительности и минимальной себестоимости. Однако минимизация себестоимости обработки, снижая затраты на производство изделия, не гарантирует того, что оно будет наилучшим образом отвечать условиям эксплуатации. Целесообразно оптимизировать не условия или параметры отдельных этапов изготовления изделия, а охватить обе стадии "жизни" изделия – его изготовление и эксплуатацию. Таким образом, процесс оптимизации должен затрагивать весь период физического существования изделия, начиная от начальных стадий его изготовления и заканчивая выработкой изделием своего ресурса эксплуатации. В этом случае критерии оптимизации будут такими: минимальная себестоимость обработки и максимальная работоспособность изделия в эксплуатации.

Представленные подходы к повышению эффективности процессов обработки резанием не претендуют на охват всех существующих возможностей. Они представляют собой примеры эффективного решения важной научной и прикладной проблемы, особенно для инструментов с ПСТМ на основе КНБ, характеризующихся высокой стоимостью.

Список литературы

1. Герман, И.С. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения [Текст] / И.С. Герман, Н.А. Буше // Трение и износ.– 1995.– Т. 16. – № 1.– С. 61–70.
2. Мигрантов, М.Ш., Интенсификация процесса металлообработки на основе использования эффекта самоорганизации при трении. [Текст] / М.Ш. Мигрантов, Л.Ш. Шустер – М.: Машиностроение, 2005.– 202 с.
3. Рыжов, Э.В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями [Текст] / Э.В. Рыжов, С.А. Клименко, О.Г. Гуцаленко – К.: Наук. думка, 1994.– 181 с.
4. Сигэмацу, Х. Влияние СОЖ на работу резцов из КНБ [Текст] / Х. Сигэмацу, С. Томита Т. Ногути // Ниппон кикай гаккай ронбусю. Серия С. – 1981. – Т. 47. – № 415. – С. 390–396.
5. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: в 6 т. / под общ. ред. Н.В. Новикова. – Т.5: Обработка материалов лезвийным инструментом / под ред. С.А. Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 316 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., Костюк Г.И.
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Поступила в редакцию 21.07.12.

Підвищення ефективності процесів оброблення інструментами з ПСТМ на основі КНБ

Подано підходи до підвищення ефективності процесів оброблення різнанням. Вони являють собою приклади ефективного вирішення важливої наукової та прикладної проблеми, особливо для інструментів з ПСТМ на основі КНБ, що характеризуються високою вартістю.

Ключові слова: трибосистеми, різальний інструмент, оброблюваний матеріал, зрізаний шар.

Increased efficiency in processing tools with PSTM based CNS

Approaches to increase the efficiency of machining processes. They are examples of efficient solutions of important scientific and applied problems, especially for instruments with a PSTM-based CNS, characterized by high cost.

Keywords: tribosystem, cutting tool, workpiece material, cut layer.