

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Лебедев В.Я., к.т.н., доцент

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларусь», г. Минск, Республика Беларусь

В ряде отраслей промышленности, и особенно в машиностроении, обеспечивающем техникой транспорт, агрокомплекс, нефтегазовую, бумагоделательную и другие отрасли, актуальными являются проблемы обеспечения точности геометрической формы и качества поверхности слоя крупногабаритных и ответственных деталей. Часто такие детали являются сборными и состоящими из корпусов традиционных конструкционных материалов и высокопрочных рабочих элементов. Значительная доля таких деталей имеет прерывистые рабочие поверхности, формируемые при механической обработке, а их грани определяют работоспособность рабочих органов и оборудования в целом. При изготовлении таких деталей широкое применение находят материалы с высокими физико-механическими и другими специальными свойствами, которые в полной мере позволяют реализовать потенциал скоростных и динамичных машин и механизмов по производительности и качеству, снижая в то же время их металлоемкость. Применение таких материалов обусловлено режимами работы машин и механизмов, а также условиями окружающей среды и агрессивностью технологических сред.

Относительно высокая материалоемкость и стоимость корпусов и остовов таких деталей делает целесообразным восстановление их работоспособности современными технологиями путем:

-наплавки материалов, близких по физико-механическим свойствам исходному материалу детали;

-нанесения износостойких порошковых покрытий с последующим их оплавлением или без него;

-наварки на восстанавливаемые участки деталей новых рабочих элементов.

Как правило, известные методы восстановления требуют последующей механической обработки поверхностей. Обработка осложнена неравномерностью припуска, высокой твердостью и прочностью обрабатываемого материала, высокими требованиями к точности формы и качеству восстановленных поверхностей. Традиционные способы обработки на таких операциях малоэффективны. Обработка резанием таких материалов также сопровождается технологическими проблемами, связанными с необходимостью снижения режимов обработки, значительным снижением стойкости режущего инструмента, увеличением динамической и тепловой нагрузки на элементы технологической системы. В совокупности это ведет к резкому снижению производительности для достижения требуемого уровня качества обработки. В технологической практике решение указанных проблем достигается несколькими путями, например:

-за счет разработки новых методов обработки с более эффективной кинематикой рабочих движений при резании;

-применением инструментальных материалов с оптимальным сочетанием эксплуатационных свойств (высокая твердость и достаточная прочность);

-применением технологических сред, интенсифицирующих процесс резания за счет химического воздействия и изменения условий физико-механического взаимодействия рабочих поверхностей инструмента и обрабатываемого материала;

-применением высокозергетических методов воздействия на обрабатываемый материал, приводящих к снижению прочности срезаемого слоя;

-оптимизацией режимов резания и геометрии инструмента, выбором оптимального инструмента с высоким уровнем надежности, обеспеченнего, в том числе, внедрением процедур сертификации в производство инструментов.

Рассмотрим некоторые направления, исследование и разработка которых выполнены в Физико-техническом институте НАН Беларуси.

Традиционная кинематика процессов лезвийной обработки, например, точения, основана на сочетании вращательного движения заготовки и продольного движения резца, установленного на заданную глубину резания. При этом величина скорости главного движения резания совпадает с относительной скоростью трения задней поверхности режущего лезвия и обрабатываемой поверхностью заготовки. Таким образом, повышение скорости резания всегда сопровождается ростом динамической и тепловой нагрузки на режущий инструмент и ведет к снижению его стойкости. Известные способы повышения стойкости инструмента основаны на снижении скорости относительного скольжения инструмента и заготовки или периодизации работы режущего лезвия в процессе резания. Например, принудительное касательное перемещение лезвия в процессе резания, или поворот его вокруг оси, реализованные в инструментах для «брекущего» резания. Установка на передней поверхности резца ролика облегчает сход стружки, снижает силу резания и повышает стойкость резца. Однако указанные способы характеризуются тем, что в резании каждая точка режущего лезвия участвует лишь один раз и для возобновления процесса резания необходимо его прерывание и возврат в исходное состояние. В Физико-техническом институте НАН Беларуси разработаны способы ротационного резания, которые одновременно позволяют снизить скорость относительного скольжения в контактной зоне и сообщают процессу прерывистый характер резания элементарным участком лезвия, сохраняя непрерывность процесса стружкообразования и не снижая производительности. Идея круглой режущей части инструмента, совершающей вращательное движение при резании, принадлежит английскому изобретателю J.Napier [1]. Основное применение и преимущества он видел в придании различной скорости вращения режущего лезвия при обработке материалов (в основном, древесины) различной твердости. До промышленного применения идея доведена лишь в 60-е годы прошлого столетия благодаря работам, выполненным, в первую очередь, в ФТИ под руководством академика Е.Г. Коновалова, а также в Харьковском авиационном институте, МВТУ им. Баумана и других центрах СССР.

Учитывая особенности обработки восстановленных поверхностей, возникающую при этом неравномерность вращения режущего лезвия, представляется необходимым оценить влияние конструкции шпиндельного узла на кинематические параметры процесса [2,3].

Чередование снятия стружки с холостым пробегом инструмента оказывает существенное влияние не только на состояние его режущей части, но и на работоспособность шпиндельного узла, состояние которого в значительной мере определяет качество обработки. Изменение кинематических параметров за время холостого хода обусловлено наличием потерь на трение в опорах ротационного инструмента, приводящих к изменению угловой скорости резца, а значит и кинематического коэффициента, являющегося важнейшим параметром ротационной обработки [3]. Величина кинематического коэффициента рассчитывается как отношение линейных скоростей режущего лезвия и обрабатываемой поверхности в вершине лезвия. Во время прохождения прерывистости на инструмент действует момент инерции вращающихся элементов и момент трения в его опорах. На основании принципа Д'Аламбера-Лагранжа составлено уравнение движения для вращающейся системы. Его решение имеет вид [4]:

$$\tau = \frac{3J_o}{k_1} \left[\left(\omega_p^{\frac{1}{3}} - \omega_{p_o}^{\frac{1}{3}} \right) + \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \left(\arctg \frac{\omega_{p_o}^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{\frac{k_2}{k_1}}} - \arctg \frac{\omega_p^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{\frac{k_2}{k_1}}} \right) \right].$$

С учетом граничных условий определено время полного останова резца после выхода из зоны резания

$$\tau_{osc} = \frac{3J_o}{k_1} \left(\sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \cdot \arctg \frac{\omega_{p_o}^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{\frac{k_2}{k_1}}} - \omega_{p_o}^{\frac{1}{3}} \right).$$

В полученные зависимости входят основные параметры ротационного резца, включая осевой момент инерции вращающихся элементов, приведенную нагрузку на подшипники, динамическую грузоподъемность подшипников, кинематическую вязкость смазки и др. По ним выполнены расчеты для наиболее широко применяемых конструкций инструмента и технически приемлемых условий их эксплуатации:

$D_o \cdot 10^{-3}$, м=25-40; v , $\text{мм}^2/\text{с}$ =10-100; C_o , кН=6,3-40; P_H , кН=0,25-2,5; ω_{p_o} , с^{-1} =50-500; J_o , $\text{кГ} \cdot \text{м}^2$ =0,01-0,03; f_q =1,5-4; f_i =0,001-0,0012; c =0,33.

Анализ зависимостей и результатов расчета показал, что с ростом частоты вращения увеличивается в большей степени τ_{osc} для инструмента на радиально-упорных подшипниках в сравнении с инструментом с разделенными опорами. Это объясняется более высокими скоростными характеристиками радиально-упорных подшипников. Увеличение среднего диаметра подшипников D_o также в большей мере ведет к росту τ_{osc} для инструмента на радиально-упорных подшипниках. В инструментах с разделенными опорами увеличение габаритов подшипникового узла в большей мере сопровождается увеличением потерь на трение, а значит и относительным снижением τ_{osc} , чем его ростом, вызываемым увеличением момента инерции вращающихся частей инструмента.

С увеличением предварительного натяга в подшипниках увеличивается доля пластической составляющей деформации и относительное проскальзывание тел качения в контакте. Это ведет к увеличению потерь на трение в опорах, их быстрому перегреву. Радиально-упорные подшипники особенно чувствительны к перегрузке и поэтому величину монтажного натяга в инструменте на их базе для чистовых операций следует выбирать в пределах 6-8 мкм для подшипников с внутренним диаметром 20-25 мм, а для получистовых операций – в пределах 8-12 мкм.

Исследованы кинематические характеристики партии ротационных резцов, у которых передней опорой служат подшипники 5-436204ЕШ1, а задней – 6-36204Е. На специально разработанных установках контролировалась величина монтажного натяга при сборке и усилие натяга, осевая жесткость. Их значения варьировались в пределах: δ_o = 3-10,5 мкм, P_H = 200-1700 Н, J_o = 142-383 Н/мкм. Значение τ_{osc} при таких условиях изменилось от 0,07 до 0,303 с при $\omega_{p_o} = 210 \text{ с}^{-1}$ и от 0,105 до 0,37 с при $\omega_{p_o} = 388 \text{ с}^{-1}$.

Анализ показал, что выбор величины натяга имеет большое значение для скоростных характеристик инструмента. Увеличение его выше оптимального (6-8 мкм) несколько повышает осевую жесткость, но резко растут потери на трение и падает значение τ_{osc} . Указанными резцами с совмещенными опорами выполнена обработка наплавленных порошковых покрытий ПГ-СР3 и ПГ-СР4 на образцах в виде колец диаметром 80-100 мм с различной величиной прерывистости ($\beta = 30^\circ - 270^\circ$). Некоторые результаты исследования кинематики процесса показаны на рисунке 1.

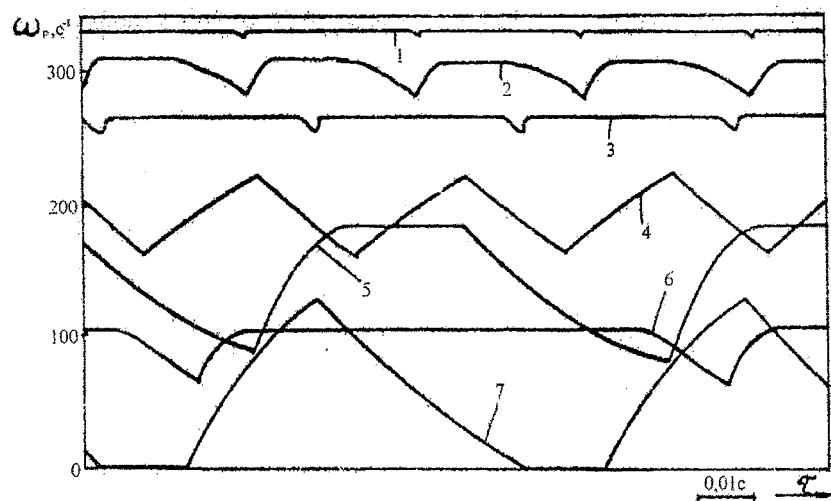


Рисунок 1 – Изменение скорости вращения ротационного резца при точении прерывистых поверхностей на режимах: $V=10,6 \text{ м/с}$ -1,2; $V=8,5 \text{ м/с}$ -3,4; $V=4,2 \text{ м/с}$ -5,7; $V=3,3 \text{ м/с}$ -6; β (прерывистость) 30^0 -1,3,6; 180^0 -2,4,5; 270^0 -7. $M_{tp}=0,058 \text{ Н}\cdot\text{м}$ -1,3,5,6; $M_{tp}=0,095 \text{ Н}\cdot\text{м}$ -2,4,7

Выполненные исследования показали, что применение ротационных резцов обеспечивает эффективную обработку покрытий твердостью до 50-52 HRC. При обработке покрытий твердостью 40-45 HRC стойкость ротационного резца на порядок выше стойкости призматического. Выбор ротационного инструмента с высокими скоростными характеристиками обеспечивает практически постоянное значение текстуры поверхности (наклон следов обработки относительно оси вращения заготовки). Разгон инструмента при врезании обеспечивает достижение номинального значения частоты вращения резца на 3-5 мм пути резания. Управление кинематическими параметрами ротационной обработки обеспечивает также получение прерывистых поверхностей практически без заусенцев на выходе инструмента.

Применение более прочных и твердых инструментальных материалов всегда было ориентиром в повышении эффективности обработки резанием. Анализ физико-механических и эксплуатационных свойств инструментальных материалов показывает, что современные сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора (КНБ) и алмаза являются наиболее перспективными в условиях обработки, характерных для точения восстановленных деталей. На современном этапе развития техники в легкой, пищевой и перерабатывающей промышленности и других отраслях появилось значительное количество импортной техники. Ресурс ее к настоящему времени выработался, а возможности переоснащения новым оборудованием ограничены. Поэтому отмечается оживление на рынке услуг по ремонту и восстановлению такого оборудования. В частности, проблемным является вопрос восстановления экструдеров в кондитерской промышленности. Применение нержавеющих сталей в конструкциях экструдера требует разделительного слоя из антифрикционного материала на контактных поверхностях. Чаще они выполняются наплавкой бронзовой ленты на контактную поверхность шнека. В ФТИ НАН Беларусь выполнено восстановление шнека наплавкой бронзовыми электродами серии VacPac фирмы «ESAB» (Швеция). Последующая механическая обработка твердосплавными резцами из ВК8 не обеспечивала стойкости даже на 1 проход на длине винта 2180 мм шнека ВРФ200 на режимах $n = 40 \text{ об/мин}$, $t = 0,3-0,4 \text{ мм}$. Потому были использованы резцы, оснащенные пластинкой из киборита (ИСМ НАН Украины), композита 10 (гексанит- завод «Ильич» г. Санкт-Петербург) и эльбора (фирма «Азид» г. Минск). Процесс обработки восстановленного шнека показан на рисунке 2.

Результаты исследований показали, что наиболее высокие результаты, особенно при первых проходах по корке показали резцы из киборита и композита 10. Обработка велась всухую на режимах $V = 1,2-2$ м/с, $S = 0,28$ мм/об, $t = 0,3-0,6$ мм. Режимы резания ограничивались жесткостью шнека и невозможностью применить люнеты и промежуточные опоры. Без переточки выполнялось до 5 проходов с обеспечением шероховатости обработанной поверхности по параметру R_a не более 1,6 мкм.

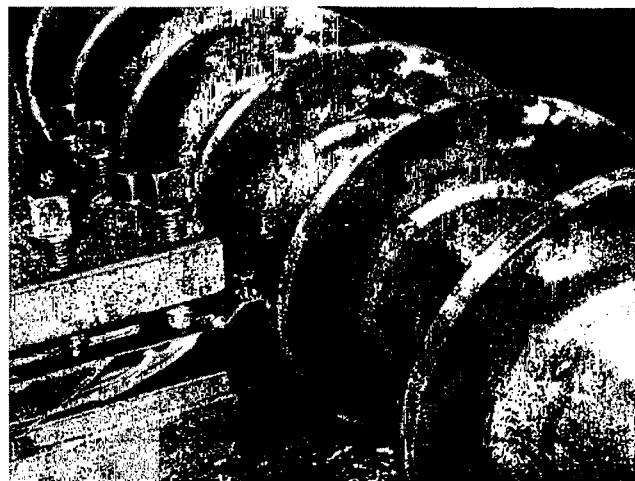


Рисунок 2 – Обработка восстановленного шнека экструдера резцом из киборита

Указанные выше марки ПСТМ использованы при точении делителя теста ВХДУ, рабочая поверхность которого восстановлена нанесением порошков БрАЖ9 фракции 315/250 с последующим оплавлением. На чистовых проходах заметного различия в стойкости всех марок ПСТМ не наблюдалось. Шероховатость обработанной поверхности составляла по параметру R_a 0,8-0,63 мкм и не требовалось дополнительной чистовой обработки шлифованием как при точении твердосплавными резцами.

Таким образом, все более широкое применение высокопрочных материалов наряду с ростом требований к точности и качеству обработанных поверхностей ведет к росту затрат на режущий инструмент и механическую обработку деталей. В повышении ее эффективности важную роль играют надежность и долговечность режущих инструментов. Значительно повысить качество и надежность инструментов могут внедрение в их производство процедур ресурсных испытаний и сертификации. Это подтверждается и опытом работы испытательного центра ФТИ НАН Беларуси в области сертификации лезвийных и алмазно-абразивных инструментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Napier J. M. Working Wood and Metal. Патент Великобритании №166 от 17 января 1868 г.
2. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. – Минск, 1972.
3. Сидоренко В.А., Макаревич Г.П., Лукьяненко В.И. и др. //Новые методы испытания и обработки материалов. Мн., 1975. –С. 271-284.
4. Лебедев, В.Я. Разработка и внедрение технологических процессов ротационной обработки деталей с прерывистыми поверхностями: Автореф. дис....к.т.н. – Мн., 1989.

Аннотация

Высокоэффективные технологии лезвийной обработки восстановленных поверхностей деталей

Широкое применение высокопрочных материалов ведет к росту затрат на режущий инструмент и механическую обработку деталей. Значительно повысить качество и надежность инструментов могут внедрение в их производство процедур ресурсных испытаний и сертификации. Это подтверждается и опытом работы испытательного центра ФТИ НАН Беларуси в области сертификации лезвийных и алмазно-абразивных инструментов.

Abstract

High-technology lezviynoy treatment restored surfaces

Widespread use of high performance materials led to an increase in the cost of cutting tools and machining parts. Significantly improve the quality and reliability of instruments may introduce into their production processes of resource testing and certification. This is confirmed by experience and Testing Center of Physical-Technical Institute Academy of Sciences of Belarus in the field of certification diamond abrasive tools.

УДК 621.923

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Акулович Л.М., д.т.н., профессор; Комик И.Ю., аспирант
Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

При анализе интенсивных методов обработки необходимо учитывать стабильность формирования параметров качества обработки и рассматривать механизмы управления устойчивостью технологического процесса путем применения обратных связей [1]. Поскольку условия, обеспечивающие самоорганизацию поверхностных явлений и стабилизацию формирования параметров качества интенсивной обработки, являются следствием избыточности рассматриваемой технологической системы по структурному составу [2], то целесообразно в качестве целевой функции вместо конкретных значений совокупности критерииев выбора использовать критерии самоорганизации процессов [3].

В общем виде системная модель технологии [4] представляется сочетанием трех входных потоков: вещества, энергии, информации. Способ обработки целесообразно рассматривать в виде двух подсистем: энергетической и информационной. Первая преобразует и доставляет энергию, необходимую для воздействия на заготовку с целью изменения ее физико-механических свойств, снятия материала. Вторая управляет потоками энергии и вещества, обеспечивая их доставку в необходимом количестве в заданное место рабочего пространства с целью обеспечения требуемых формы, размеров и свойств поверхности детали.

Воздействие на заготовку осуществляется с целью перехода ее из одного состояния в другое, соответствующее новому качеству [4]. Процесс магнитно-абразивной обработки