

М491169

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской революции
и ордена Трудового Красного Знамени
Государственный технический университет
имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи
УДК 621.9:699-419.8(043)

ХОДУС Валерий Владимирович

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕГУЛЯРНОГО РЕЛЬЕФА
ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
С МАКРОСТРУКТУРОЙ

Специальность 05.02.08.-Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена
Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного
Знамени Государственном техническом университете
имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель	-	заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор А.М.Дальский
Официальные оппоненты	-	доктор технических наук, профессор Чернянский П.М.
	-	кандидат технических наук, Богомолов С.И.
Ведущая организация	-	Московский завод скоростных электродвигателей

053.15.15 1990 г.
в Московском
и.Н.Э.Баумана
кая ул., дом 5.
библиотеке МГТУ

печать, заверенный
гесу.

053.15.15 1990 г.

Р.К.Мещеряков

Гир.100 экз.

11491169

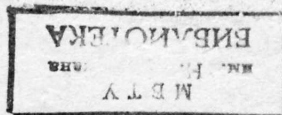
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В "Основных направлениях экономического и социального развития народного хозяйства СССР на 1985-1990 гг. и до 2000 г." указывается "Более полно использовать при разработке новой техники и технологии возможности материалов с заранее заданными свойствами, особенно прогрессивных конструкционных, в том числе ... композиционных..., обеспечивающих высокий экономический эффект в народном хозяйстве".

Композиционные материалы (КМ) — это новейшая группа материалов, получаемых с использованием различных технологий. Интенсивное изучение их в США, Японии, ФРГ, Великобритании и других промышленно развитых странах. Сегодня в этой области наблюдается огромный прогресс. В США прирост производства изделий из КМ измеряется суммой почти 1 млрд. долл. в год. В СССР производство деталей из КМ к 1990 г. повысилось на 42-47% по сравнению с 1984 г.

Несмотря на прогрессивные методы получения изделий из этих материалов, существенный объем механической обработки деталей из КМ необходим для получения высокой точности, качества изделий, достижения требуемых эксплуатационных характеристик. Однако существующие в настоящее время рекомендации по технологическому обеспечению механической обработки КМ носят, в основном, частный характер. Разработанное технологическое обеспечение для КМ не является универсальным. А использование теории и практики по обработке обычных материалов не представляется возможным из-за специфических особенностей процесса обработки КМ, таких как: высокочастотный перепад сил резания, наличие ударных нагрузок на режущую часть инструмента, вынужденные колебания технологической оснастки и другие. Это накладывает определенные ограничения на темпы внедрения КМ в производство.

В тоже время высокими темпами развивается направление, связанное с управлением эксплуатационными свойствами деталей машин путем регуляризации рельефов на финишных операциях. Объединение положительных свойств, заложенных в композиционных материалах и в направлении, связанном с регуляризацией рельефа рабочих поверхностей, позволит качественным образом улучшать эксплуатационные свойства деталей машин. Специфика обработки КМ проя-



ляется, когда каждая фаза оказывает дифференцированное влияние на процесс обработки. Поэтому особенности обработки КМ необходимо рассматривать при технологическом обеспечении обработки композиционных материалов с макроструктурой (КММ). Частным случаем КММ являются триботехнические композиционные материалы (ТКМ).. Проблема обеспечения эксплуатационных характеристик деталей из ТКМ стоит достаточно остро. Обеспечения технологическими методами регулярного рельефа на рабочих поверхностях из ТКМ позволит существенно улучшить эксплуатационные показатели деталей, работающих в условиях фрикционного взаимодействия. Таким образом, вопрос технологического обеспечения регулярного рельефа при обработке деталей из КММ стоит достаточно остро.

Цель работы. Разработка методов технологического обеспечения эксплуатационных характеристик высокоточных деталей из композиционных материалов с макроструктурой на основе формирования регулярного рельефа на обрабатываемой поверхности.

Методы исследования. В работе применялись теоретические и экспериментальные исследования, производились производственные испытания. Полученные в ходе экспериментальных исследований результаты обрабатывались методами математической статистики и сравнивались с результатами теоретического анализа. Теоретические исследования выполнялись на базе основ технологии обработки конструкционных материалов с использованием теории упругости, основ триботехники и методов теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились с использованием оригинальных конструкций технологической оснастки и стендов для контроля эксплуатационных характеристик. Обработка экспериментальных данных производилась с использованием современной вычислительной техники.

Научная новизна. В результате исследований установлены закономерности влияния частотно-жесткостных характеристик технологической системы и условий обработки на процесс формообразования регулярного рельефа. Установлены зависимости влияния технологического обеспечения на величину волнистости поверхностного слоя. Разработаны технологические условия, обеспечивающие отсутствие автоколебательного процесса при обработке КММ. Разработана методика расчетов параметров технологической системы и

режимов обработки КММ для обеспечения процесса формообразования регулярного рельефа. Установлены зависимости влияния структуры поверхностного слоя и технологического обеспечения на эксплуатационные свойства деталей из ТКМ. Разработана методика расчета оптимальных параметров регулярного рельефа деталей из ТКМ для конкретных условий эксплуатации.

Практическая ценность. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны технологические методы по обеспечению формирования регулярного рельефа при обработке КММ и высокие эксплуатационные свойства деталей из КММ. Разработана новая конструкция технологической оснастки, обеспечивающая процесс формообразования регулярного рельефа и программа для ЭВМ по расчету оптимальных параметров регулярного рельефа.

Реализация работы. Результаты исследований в виде методик и программы для ЭВМ переданы ИИМ АН УССР для централизованного внедрения на предприятиях при внедрении новых композиционных материалов. Результаты работы в виде практических рекомендаций и методик переданы на ПО "Кжэлектромаш" для проведения конструкторско-технологической подготовки производства новых опор скольжения из ТКМ для электродвигателей большой мощности. Общий ожидаемый годовой экономический эффект составляет 45000 рублей.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научных семинарах кафедры "Технология автоматизированного механосборочного производства" МГТУ им. Н.Э.Баумана в 1988-1990гг. и научно-технической конференции.

Публикации. По материалам работы опубликовано 2 печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 136 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с выводами и общих выводов по работе. Содержит 9 таблиц, 82 рисунка, список литературы из 113 наименований, 5 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, приведена характеристика ее направленности и научной новизны. Сформулирована цель и положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное состояние проблемы обработки композиционных материалов, технологического обеспечения эксплуатационных характеристик деталей путем формообразования регулярного рельефа на рабочих поверхностях.

Особенностью использования композиционных материалов является совмещение получения материала с технологическим процессом изготовления готового изделия. Ряд прогрессивных технологий обеспечивают получение деталей с относительно высокой точностью и качеством поверхностного слоя. Однако для получения окончательной формы и размеров готовых изделий, достижения требуемой точности и качества необходимо применять механическую обработку. В последнее время вопросу обработки композиционных материалов уделяется большое внимание. Но информация по этому вопросу имеет разрозненный, иногда противоречивый характер. Исследования и рекомендации, в основном, проводятся для конкретного композиционного материала. Общие технологические принципы и подходы к механической обработке КМ не разработаны.

Анализ работ Федорченко И.М., Засолотного Л.В., Степанова А.А. и других авторов показал, что при обработке композиционных материалов применяются различные технологические методы. Однако общий подход к этой проблеме осуществляется по пути использования опыта обработки обычных литых материалов. Не учитывается специфика процесса обработки КМ. Перед механической обработкой ставится задача получения стандартных параметров качества поверхностного слоя. При этом не учитывается специфическое свойство КМ — изменения рельефа при изменении температуры поверхностного слоя из-за разности коэффициента термического расширения материалов, входящих в КМ. При обработке КМ из-за наличия высокочастотного перепада сил резания и вибраций технологической системы используются низкопроизводительные и дорогостоящие методы обработки (например, многократное алмазное шлифование с малыми припусками). Борьба с вибрациями осуществляется

ся только за счет повышения жесткости используемого оборудования и технологической оснастки.

Исследование работ Якимова А. В., Шнейдера Ю.Г. и других авторов показал, что путь повышения эксплуатационных показателей деталей машин образованием регулярных рельефов на рабочих поверхностях является достаточно действенным. Однако регуляризация рельефом обеспечивается различными методами вибронакатывания и прерывистого шлифования. Но эти методы имеют ряд существенных ограничений как в области применения, так и в возможности варьирования параметрами регулярного рельефа.

В работе показано, что разработка методов технологического обеспечения регулярного рельефа при обработке композиционных материалов с макроструктурой позволит не только повысить рабочие характеристики деталей, но и управлять эксплуатационными показателями в заданных пределах.

На основе проведенного анализа, исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие основные задачи:

1. Разработать теоретические принципы выбора и расчета технологической системы и режимов обработки, обеспечивающих формирование на обрабатываемой поверхности из КММ регулярного рельефа требуемой формы и размеров и подтвердить их экспериментально.
2. Разработать новые конструкции технологической оснастки, обеспечивающей формирование регулярного рельефа на обрабатываемой поверхности.
3. Провести теоретическое и экспериментальное исследование влияния технологических условий обработки КМ прецизионным точением на эксплуатационные характеристики поверхностей трения.
4. Разработать методику определения оптимальной формы регулярного рельефа, обеспечивающего наилучшие условия работы поверхностей скольжения из КМ.

Во второй главе проведен теоретический анализ влияния технологических факторов на процесс формообразования регулярного рельефа и эксплуатационные характеристики деталей из композиционных материалов с макроструктурой.

При обработке композиционных материалов с макроструктурой

зона обработки попеременно переходит от одной фазы КМ к другой. Физико-механические свойства составляющих КМ материалов различные, поэтому на технологическую систему в процессе механической обработки действует переменная по величине сила резания. Это приводит к тому, что на этих участках вершина инструмента отклоняется на различную величину, а технологическая система испытывает при переходе зоны обработки от одного участка КМ к другому ударные нагрузки. В результате возникающих колебаний, обработанная поверхность имеет сложный рельеф. Поэтому для теоретического анализа процесса формообразования регулярного рельефа необходимо рассмотреть процесс колебаний технологической системы при обработке КММ. При рассмотрении технологической системы как суммы парциальных систем, объединенных в единое целое через зону резания, доминирующей колебательной системой, имеющей минимальную жесткость и совершающей максимальные колебания будет технологическая оснастка. При расчете использовалась схема, где колебательная система, имеющая определенную массу и характеризующаяся некоторыми значениями жесткости и демпфирования, подвергается воздействию периодически меняющихся по величине внешних сил. Основное формообразующее движение вершины инструмента при образовании регулярного рельефа происходит в направлении тангенциальной составляющей силы резания (F_y). Поэтому для расчетов принята линейная система вынужденных колебаний с затуханием при внешнем силовом воздействии.

Теоретический анализ показал, что движение вершины инструмента при колебаниях технологической оснастки, которое определяет профиль рельефа обработанной поверхности, описывается уравнениями:

на участке возрастания силы резания:

$$y = a e^{-\delta t} \cos(\omega t + \alpha) + \frac{F_0 t}{m \tau \omega_0^2} - \frac{2 \delta F_0}{m \tau \omega_0^4} ; \quad (1)$$

на участке постоянной величины силы резания:

$$y = a_1 e^{-\delta(t-\tau)} \cos[\omega(t-\tau) + \alpha_1] + \frac{F_0}{\omega_0 m} , \quad (2)$$

где F_0 — величина возмущающей силы (разность между

тангенциальными составляющими сил резания на твердом и мягком участках поверхностного слоя, m — приведенная масса колебательной системы, ω_0 — собственная частота незатухающих колебаний; ω — частота колебаний; τ — величина запаздывания силы резания; δ — коэффициент затухания колебаний; a, a_1, b, b_1 — вещественные постоянные.

Уравнение (1) описывает профиль рельефа (как след от траектории движения вершины инструмента) при переходе зоны обработки от одной фазы КММ к другой, т.е. на переходных участках. Уравнение (2) описывает профиль рельефа непосредственно на участках твердого и мягкого материала. В обоих уравнениях первое слагаемое описывает процесс колебаний технологической оснастки. Во втором уравнении второе слагаемое показывает, что при переходе зоны обработки к более твердому участку технологическая оснастка испытывает упругие отжатия на некоторую величину. Она полностью определяется жесткостью технологической оснастки и величиной возмущающей силы. Графическое решение уравнений (1) и (2) приведено на рис. 1.

Анализ полученных решений показывает, что для получения перепада упругих отжатий технологической оснастки на требуемую величину и формирование таким образом перепада высот рельефа на твердых и мягких участках, необходимо производить расчет условий обработки и частотно-жесткостных характеристик технологической оснастки в строгом соответствии с физико-механическими свойствами материалов, входящих в КММ. Высота регулярного рельефа при обработке с использованием в технологической оснастке упругого элемента в виде призматического бруса, определяется выражением:

$$W = \frac{4\ell^3}{Eb h^3} (C_{\text{PT}} t^{x_{\text{PT}}} S^{\text{SP}_T} V^{\text{HP}_T} K_{\text{PT}} - C_{\text{PM}} t^{x_{\text{PM}}} S^{\text{SP}_M} V^{\text{HP}_M} K_{\text{PM}}), \quad (3)$$

где t, S, V — режимы резания; $x_{\text{PT}}, \text{SP}_T, \text{HP}_T$ — коэффициенты для расчета силы резания на твердом участке; $x_{\text{PM}}, \text{SP}_M, \text{HP}_M$ — коэффициенты для расчета силы резания на мягком участке КММ; b, h — размеры сечения упругой державки технологической оснастки; ℓ — вылет консольной части упругой державки.

Процесс колебаний технологической оснастки приводит к появлению волнистости на обрабатываемой поверхности. Максимальная высота волнистости W_w определяется наибольшей амплитудой колебаний технологической оснастки A_1 . Для ограничения высоты волнистости ниже заданной величины необходимо рассчитывать технологическое обеспечение обработки из условия:

$$|W_w| > \frac{F_0}{m \omega_0 \cos \alpha_1} \left(\frac{e^{-\delta \tau}}{\omega} \cos(\omega \tau + \alpha) - \frac{2\delta}{\omega_0^2} \right), \quad (4)$$

где $|W_w|$ — максимально допустимая высота волнистости.

Обязательное технологическое условие формообразования регулярного рельефа следует из условия обеспечения затухания колебаний технологической оснастки при обработке ТКМ на каждом дискретном участке обработки. На рис. 2 представлены возможные варианты сочетаний времени запаздывания силы резания, времени затухания колебаний $T_{зат}$ и времени прохождения вершины инструмента по участку твердой фазы КМ-Т₁ (в расчет принимается время обработки твердой фазы, так как обычно она значительно меньше мягкой фазы КММ). Выполнение условия отсутствия автоколебательного процесса для получения регулярного рельефа возможно при (рис. 2.в):

$$T_1 > \tau + T_{зат}. \quad (5)$$

С учетом всех технологических условий это неравенство имеет вид:

$$\frac{\sqrt{4\tau^2 + \Lambda^2} (\Lambda + 4,62)}{2\Lambda\omega_0} \leq \frac{d}{V}, \quad (6)$$

где Λ — логарифмический декремент затуханий; d — длина фазы твердого материала в направлении движения резания.

Таким образом, проведенный теоретический анализ позволил определить технологические условия, обеспечивающие формирование требуемого регулярного рельефа. Технологическое обеспечение при обработке КММ для получения регулярного рельефа должно рассчитываться из условия выполнения процесса резания без автоколеба-

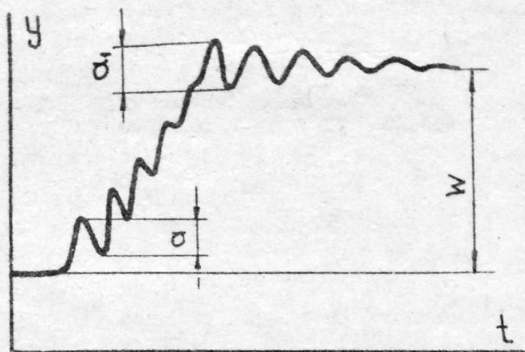


Рис.1. Графическое решение уравнений колебаний технологической оснастки.

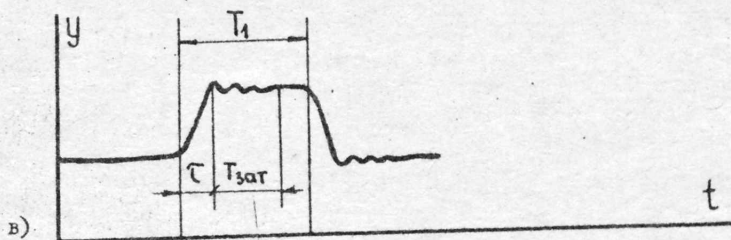
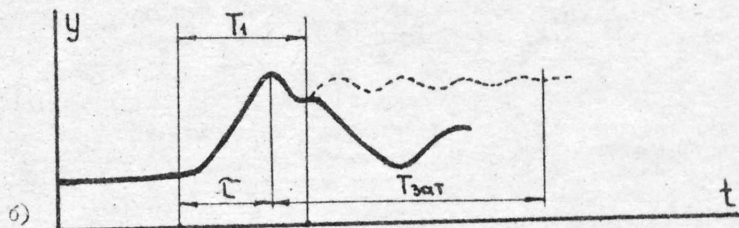
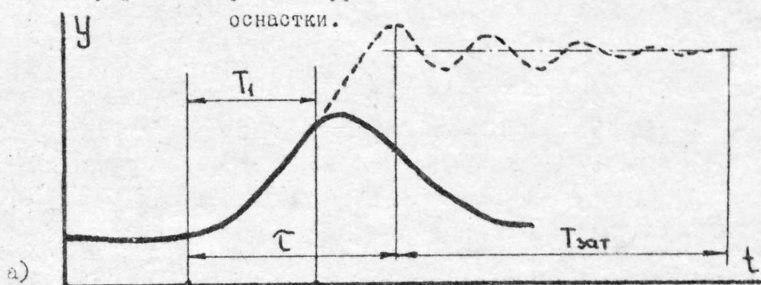


Рис.2. Варианты условий обработки ТКМ.

ний технологической оснастки (условие (6)), условия ограничения волнистости ниже заданной величины (неравенство (4)) и условия получения требуемой высоты регулярного рельефа (выражение (3)).

Так как основное формообразующее движение вершины инструмента перпендикулярно обрабатываемой поверхности, а силы резания на финишных операциях при обработке ТКМ не велики (1-50Н), то была разработана оригинальная конструкция технологической оснастки. Особенностью ее является возможность изменения жесткости упругого элемента оснастки (призматический брус, на котором крепится инструмент) в направлении действия силы P_y . За счет снижения массы колебательной системы значительно повышена собственная частота колебаний технологической оснастки. Это обеспечивает снижение времени затухания колебаний. Разработанная конструкция оснастки обеспечивает возможность получения регулярного рельефа при обработке ТКМ в широком диапазоне высот (0,5 - 50 мкм).

Профиль регулярного рельефа оказывает непосредственное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин. Проведенный теоретический анализ позволил установить влияние регулярного рельефа на контактную жесткость поверхностей из ТКМ, которая во многом определяет эксплуатационные характеристики деталей при силовом взаимодействии. На этой основе установлено влияние профиля регулярного рельефа на антифрикционные характеристики деталей из ТКМ. Каждый регулярный рельеф характеризуется безразмерным коэффициентом-параметром профиля регулярного рельефа λ (отношение радиуса кривизны выступов рельефа к расстоянию между выступами). В результате расчета установлено, коэффициент трения определяется выражением:

$$f = \frac{3,71(1-\mu^2)^{1/2} \tau_{ow}}{E^{1/2} P_c^{1/2} \lambda^{1/2}} + b, \quad (7)$$

где μ - коэффициент Пуассона; E - модуль упругости; P_c - контурное давление; τ_{ow} , b - фрикционные характеристики.

Полученное выражение позволяет определять профиль рельефа.

обеспечивающий минимальный коэффициент трения для конкретных условий эксплуатации. Теоретически установлена высота регулярного рельефа, обеспечивающего самосмазывание поверхностей при достижении критической температуры поверхностного слоя.

Таким образом, в результате теоретического анализа разработаны технологические условия формирования регулярного рельефа при обработке КММ и определены зависимости, определяющие влияние регулярного рельефа на эксплуатационные свойства деталей из ТКМ.

В третьей главе проведено экспериментальное исследование влияния технологических факторов на процесс формообразования регулярного рельефа при обработке композиционных материалов.

При проведении исследований использовались детали из композиционных материалов комбинированного и матрично-наполненного типа. Проводились эксперименты при обработке биметаллических КМ "Л68-Б83", "Си-Б16" и металлополимерных КМ "Б16-П610".

В ходе теоретического анализа было установлено, что на процесс формообразования регулярного рельефа оказывает непосредственное влияние величина возмущающей силы и жесткость технологической оснастки. Поэтому на первом этапе исследований определялось влияние условий обработки на величину возмущающей силы. Для этих целей проводился полный трехфакторный эксперимент ротatableного типа. Обработка экспериментов производилась на ЭВМ по программе "REGRES". В ходе экспериментов установлено, что доминирующее влияние на величину возмущающей силы оказывает скорость резания. Это объясняется тем, что при обработке твердых и мягких участков КМ с увеличением скорости резания изменение сил резания происходит по разному: на мягких участках она возрастает, а на твердых убывает. При изменении подачи и глубины резания силы резания изменяются существенно, но на обоих участках это изменение описывается эквидистантными кривыми. Это приводит к тому, что подача и глубина резания существенно не влияет на величину возмущающей силы. Среднеквадратичное отклонение результатов экспериментов не превышает 10% от результатов теоретического анализа. Важным выводом из экспериментов является установление того, что управление величиной возмущающей силы, а следовательно и высотой регулярного рельефа имеется возмож-

ность осуществлять изменением скорости резания.

Для установления комплексного влияния технологических факторов на процесс формообразования регулярного рельефа проводился комплексный четырехфакторный эксперимент. Переменными факторами являлись режимы резания (скорость резания, подача и глубина резания) и жесткость технологической оснастки.

Высота регулярного рельефа определялась по круглограммам при измерении на кругломере модели "TALYROND" (рис.3). По результатам экспериментов получена следующая математическая модель высоты регулярного рельефа:

$$W = 5,838 + 0,026 K \cdot V - 3,624 K - 0,11 \cdot V + 0,459 K^2 + 0,58 \cdot 10^{-3} V^2 + 0,274 V \cdot S - 60,25 S^2 + 4,105 K \cdot S.$$

В результате экспериментальных исследований установлено, что реальная жесткость технологической системы при обработке КММ отличается от статической жесткости, по которой производилась настройка технологической оснастки при экспериментах. Это объясняется наличием гистерезисных потерь в технологической оснастке при высокочастотных вибрациях. После внесения поправок на гистерезисные потери в теоретическую зависимость (3), среднеквадратичное отклонение результатов экспериментов не превыси-

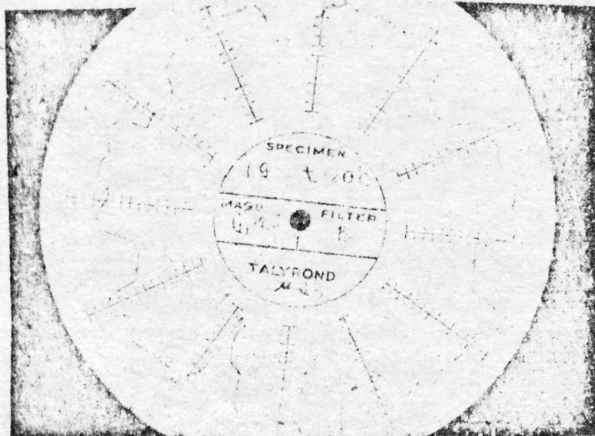


Рис.3. Круглограмма поверхности с регулярным рельефом.

ло 15% от теоретических расчетов. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили правильность теоретических условий по расчету технологического обеспечения для получения регулярного рельефа при обработке КММ.

Анализ круглограмм обработанных поверхностей показал, что разработанная технологическая оснастка и расчетные режимы обработки обеспечивают получение высоты волнистости в пределах 0,1 - 0,5 мкм. Полученные данные подтверждают справедливость теоретической зависимости (4).

Для получения высоких эксплуатационных характеристик деталей машин требуется получение шероховатости на твердых и мягких участках в необходимых пределах. В результате четырехфакторного эксперимента получены математические модели шероховатости на твердом (Б8) и мягком участках (Б83):

$$R_{a(Б8)} = 0,267 + 33,74 \cdot S^2 - 0,31 \cdot K + 0,034 \cdot C^2 - 0,274 \cdot S + \\ + 1,52 \cdot K \cdot S - 19,69 \cdot S + 5,8 \cdot t - 13,91 \cdot t^2 ;$$

$$R_{a(Б83)} = 0,7751 + 5052 \cdot S^2 + 0,487 \cdot 10^{-3} V^2 - 0,022V - 0,771 \times \\ \times 10^{-2} K \cdot V + 0,0847 \cdot C^2 - 0,047 \cdot VS - 1,63 \cdot S - 9,78t + \\ + 0,02 \cdot V \cdot t.$$

При обработке высокоточных деталей, разработанной технологической оснасткой при выполнении условий (4), (6) шероховатость на твердых и мягких участках рельефа находится в пределах R_a 0,25-0,4 мкм. При определенной жесткости технологической оснастки шероховатость поверхности приближается к регулярной. В этом случае величина опорной поверхности выше, чем при обработке на обычных режимах точением или шлифованием. При относительном сближении 0,5 величина опорной поверхности составляла 64%.

Для исследования профиля регулярного рельефа при различных температурах проводились эксперименты по изучению рельефа при нагревании деталей из КММ. Установлено, что при получении высоты регулярного рельефа в соответствии с теоретическими зависимостями, при достижении расчетной температуры поверхностного слоя участки мягкого материала из впадин переходят в выступы. Это обеспечивает эффект самосмазывания поверхностей для деталей

из ТКМ, работающих в условиях фрикционного взаимодействия.

В четвертой главе представлены результаты влияния технологических факторов при обработке на эксплуатационные характеристики деталей машин из ТКМ.

Проводилось изучение антифрикционных характеристик деталей из ТКМ, работающих в условиях сухого, граничного и жидкостного трения. Лабораторные исследования производились на оригинальном оборудовании, обеспечивающем широкий спектр изменения условий работы деталей.

Для осуществления сравнительного анализа производилось параллельное фиксирование антифрикционных характеристик деталей из высокоуглеводистого баббита Б83.

В результате экспериментальных исследований установлено, что в условиях сухого и граничного трения коэффициент трения скольжения и коэффициент трения покоя у деталей из ТКМ с регулярным рельефом не превышает коэффициентов трения для баббита Б83. Но давление схватывания у деталей из ТКМ в 1,5–2,5 раза выше, в условиях граничного трения у деталей с регулярным рельефом отсутствует абразивный износ (в пределах варьирования: давление 0,1 – 1 МПа, скорость скольжения 0,2 – 3,5 м/с). Обработка результатов эксперимента подтвердила справедливость теоретической зависимости (7).

Экспериментально подтвержден эффект самосмазывания поверхностей вследствие тепловой деформации регулярного рельефа при достижении расчетной температуры поверхностного слоя.

В гидродинамических условиях работы регулярный рельеф обеспечил снижение температуры опоры на 15–25%, увеличение толщины смазочного слоя в 1,5–2,5 раза, снижение вибраций вала. Промышленные испытания опор скольжения из ТКМ с регулярным рельефом на электродвигателях большой мощности типа СДН показали, что вибрация ротора снижается на 15–20%, температура подшипника скольжения на 20%.

В пятой главе предложена методика расчета технологического обеспечения обработки высокоточных деталей из ТКМ с формированием регулярного рельефа, методика расчета оптимального профиля регулярного рельефа для деталей из ТКМ, блок-схема и программа для ЭВМ по расчету методики оптимизации рельефа. Приведена экономическая эффективность от внедрения результатов работы в производстве.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований, обеспечивающих выполнение поставленной цели и задач исследований, сделаны следующие выводы.

1. Процесс формообразования регулярного рельефа при обработке композиционных материалов с макроструктурой достигается только при соотношении частотно-жесткостных характеристик технологической системы, режимов резания и структуры поверхностного слоя (6).

2. Высота регулярного рельефа определяется жесткостью технологической оснастки и величиной возмущающей силы, зависящей от условий обработки и физико-механических свойств материалов, входящих в КММ, в соответствии с выражением (3).

3. Достижение необходимого качества поверхностного слоя по критерию волнистости необходимо осуществлять технологическим обеспечением, рассчитываемым по выражениям (4).

4. Профиль регулярного рельефа оказывает непосредственное влияние на эксплуатационные характеристики деталей машин из КММ; для деталей работающих в условиях контактного взаимодействия это влияние полностью определяется параметром профиля регулярного рельефа.

5. Разработанная технологическая оснастка обеспечивает формирование требуемого регулярного рельефа при обработке КММ.

6. Оптимизацию шероховатости поверхностного слоя целесообразно осуществлять путем минимизации режимов резания, в пределах: подача 0,02-0,08 мм/об, глубина резания 0,05-0,15 мм.

7. Получение требуемого регулярного рельефа при обработке КММ обеспечивается при расчете технологической системы и условий обработки в соответствии с разработанной методикой.

8. Расчет оптимального профиля регулярного рельефа для деталей из ТКМ осуществляется по предложенной в работе методике.

9. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследований составляет 45 000 рублей.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Стенд для комплексной оценки состояния несущих зон профилированных подшипников / А.П.Костогрыз, В.В.Холус и др. // Вестник машиностроения. - 1989. - № 12. - С.20-23.

2. Холус В.В. Технологическое обеспечение точности при прецизионном точении композиционных антифрикционных материалов // Передовой производственный опыт, рекомендуемый для внедрения в отрасли: Информац. сбор. - ВНИИТЭМР. - 1990. - Вып.2. - С.10-11.

