

ную нагрузку на подшипник [2]. Результаты испытаний представлены на рисунке 12.

В ходе испытаний нагрузка на подшипник ступенчато увеличивалась после наработки каждых 100000 циклов нагружения. Коэффициент асимметрии цикла 1/3, что приблизительно соответствует условиям нагружения на двигателе КамАЗ-740. Явно прослеживается зависимость между нагрузкой и уровнем деформаций.

В-третьих, появление корсетности объясняется именно неравномерным распределением остаточных деформаций по сечению вкладыша. В соответствии с законом Пуассона деформация сжатия по одной из осей частично передаётся в перпендикулярном направлении с обратным знаком. Коэффициент Пуассона составляет от 0,3 в области упругих деформаций до 0,5 в области пластичности.

Таким образом, при наличии остаточных деформаций сжатия в окружном направлении вкладыша по его образующей должны наблюдаться остаточные деформации растяжения. Причём меньшие по наружной поверхности и большие по внутренней. Отсюда и прогиб вкладыша по образующей. Наличие максимума на кривой корсетности (рисунок 5) объясняется наклёпом на наружной поверхности стальной основы.

Эпюры составляющих суммарных напряжений, исходя из представленного механизма их возникновения, показаны на рисунке 13.

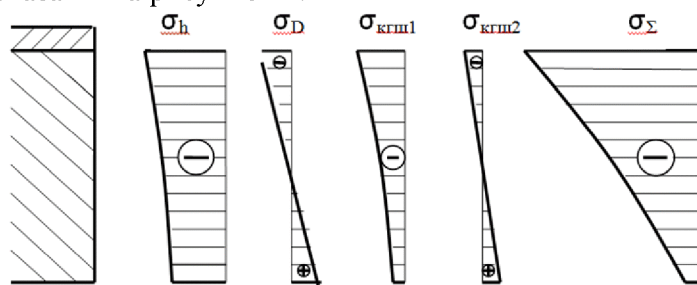


Рисунок 13 – Составляющие суммарных окружных напряжений сжатия:
 σ_h – напряжения сжатия от изменения высоты линии развѐма, σ_D – напряжения изгиба от изменения распрямления, $\sigma_{кгш1}$ – напряжения сжатия от деформаций КГШ, $\sigma_{кгш2}$ – напряжения изгиба от деформаций КГШ, σ_Σ – суммарные окружные напряжения

Для надёжного обеспечения плотности посадки вкладышей в постели подшипника при проектировании опоры необходимо задавать геометрические параметры вкладыша таким образом, чтобы величина суммарных напряжений не превышала предела пропорциональности стальной основы.

Литература

1. Тракторы и автомобили: Учебник для студентов вузов обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение». / В.М. Шарипов, М.К. Бирюков, Ю.В. Дементьев и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. 351 с.
2. Никишин, В.Н. Формирование и обеспечение качества автомобильного дизеля. Часть II / В.Н. Никишин д.т.н.; ГОУ ВПО «Камская госуд. инж.-экон. акад.». Набережные Челны: Изд-во Камской госуд. инж.экон. акад., 2008. 175 с.
3. Dr. rer. nat. Erich Roemer. – GLYCO-METALL-WERKE Daelen@Loos GmbH, Wiesbaden – Schierstein. Die Berechnung des Preßsitzes von Gleitlagerschalen. MTZ № 2, 1961.

Повышение эффективности резания закаленной стали путем применения режущего инструмента из высокопрочной композиционной керамики с покрытием

Сотова Е.С., Лазарева М.Н.
 МГТУ «СТАНКИН»
 (499)972-94-49, masha-000@mail.ru

Аннотация. Исследованы режущие свойства инструмента из высокопрочной композиционной керамики (ВКК) с многофункциональным покрытием при реза-

нии закаленной стали. Получены математические модели резания, устанавливающие зависимости износа по задней поверхности инструмента, шероховатости обработанной поверхности детали, тангенциальной составляющей силы резания, а также мощности резания от режимов точения. Сформулирована и решена задача оптимизации режимов резания инструментом из ВКК. Установлено, что нанесение многофункциональных покрытий на керамический режущий инструмент позволяет повысить эффективность обработки.

Ключевые слова: высокопрочная композиционная керамика (ВКК); покрытие; задача оптимизации; оптимальные режимы резания.

Введение

В современном машиностроении постоянно растет использование высоконагруженных деталей, изготовленных из закаленных сталей. Помимо традиционной обработки шлифованием возрастает роль обработки закаленных деталей точением. Это обусловлено повышенными требованиями к качеству и точности обработки и усложнением конструктивных форм деталей машин. На точность и качество изготовления деталей влияют прочностные характеристики режущего инструмента, а также его геометрия [1].

Точение сталей повышенной твердости по сравнению с обычным точением предъявляет повышенные требования к оборудованию, инструментам, а также инструментальным материалам. Так как такая обработка производится при высоких скоростях и твердость обрабатываемого материала составляет, в основном, HRC 55-60, то необходимым условием для проведения успешной обработки является наличие определенных свойств у инструментального материала. Для этого все большее применение находят инструменты, оснащенные режущей керамикой (РК). Это объясняется уникальным сочетанием физико-механических и теплофизических свойств керамических материалов (повышенной твердостью и износостойкостью, химической инертностью, а также высокой термостойкостью (1200 – 1450 °С) в сравнении с твердыми сплавами) и относительной недефицитностью исходного сырья.

Высокая вероятность непрогнозируемого разрушения инструмента из РК (внезапный отказ) сдерживает его широкое применение в промышленности, особенно в автоматизируемом производстве при использовании станков с ЧПУ, автоматизированных станочных систем и обрабатывающих комплексов. В этой связи создание отечественного высокопроизводительного высокопрочного керамического инструмента для автоматизированного производства, обеспечение его надежной эксплуатации с минимизацией вероятности его внезапного отказа является весьма актуальной и востребованной научно-практической задачей настоящего и ближайшего будущего.

Определение оптимальных режимов резания при точении стали ХВГ режущим инструментом из ВКК

Для эффективного управления процессом точения и обеспечения требуемой надежности необходимо иметь информацию об оптимальных управляющих воздействиях. Эта информация получается в результате переработки информации о резании и информации о задаче управления [3].

Информация о задаче управления (эффективность управления) представляется в виде целевой функции и ограничений, накладываемых на решение задачи [3].

В роли критерия эффективности можно принять:

- штучное время;
- удельную себестоимость обработки;
- производительность обработки резанием, то есть количество снимаемой стружки за единицу времени;
- площадь заготовки, обработанную за единицу времени;
- объем удаленного материала до смены режущего инструмента;
- суммарную обработанную поверхность заготовки до смены инструмента;
- любой другой параметр резания.

В качестве целевой функции в данной работе была выбрана площадь поверхности изделия, образуемая за время резания до смены инструмента:

$$F = 10^{-3} \cdot S \cdot V \cdot T = \max, \text{ м}^2. \quad (1)$$

Максимальная эффективность резания достигается при оптимальных режимах резания S_0 , V_0 и T_0 . Любое изменение подачи S , скорости V резания и времени T резания до смены инструмента ведет либо к снижению эффективности инструмента, либо к его быстрому катастрофическому изнашиванию.

В качестве ограничений, накладываемых на решение задачи оптимизации, используются ограничения на параметры и факторы резания [3].

К ограничениям на параметры резания относятся:

- ограничения по качеству изделий (шероховатость обработанной поверхности, точность размеров и формы, остаточные деформации и остаточные напряжения в поверхностном слое и др.);
- ограничения по качеству инструмента (прочности, теплостойкости, сопротивлению изнашиванию, износостойкости);
- ограничения по качеству станка (мощности, виброустойчивости и др.);
- ограничения по надежности процесса резания.

К ограничениям на факторы резания относятся ограничения, накладываемые конструкцией станка (диапазон подач, диапазон частот вращения и др.), а также ограничение по времени резания, накладываемое производственной программой и нормой расхода режущего инструмента.

Информация о резании представляется в виде математической модели резания, представляющей собой функцию распределения случайных параметров резания, каждый из которых зависит от управляющих факторов резания. Построение математической модели для процессов резания и нанесения покрытия является процедурой сбора информации об управляющих воздействиях и о состоянии процесса резания [3]. Эта процедура состоит из следующих этапов:

- выбор процесса в пространстве и во времени;
- выбор вида математической модели процесса;
- планирование экспериментов;
- выбор средств измерения и осуществление экспериментов;
- определение параметров математической модели по результатам эксперимента.

Выбранная математическая модель должна быть действительна все время работы инструмента до его замены. На основании этого время резания должно быть включено в функцию модели для управления процессом резания как объект моделирования. Это необходимо потому, что резание является динамическим процессом, и его параметры закономерно изменяются в зависимости от времени.

В качестве модели резания была выбрана степенная мультипликативная функция вида:

$$R = C \cdot \prod_{i=1}^n z_i^{a_i} \quad (2)$$

Модель такого вида может быть использована для оптимизации процессов резания по методу линейного программирования.

Задача оптимизации режимов резания инструментом из ВКК без покрытия и с покрытием (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N при точении формулируется следующим образом: при известной глубине резания t и подаче S , определить такие значения скорости резания v и времени резания T , которые в условиях ограничений по шероховатости обрабатываемой поверхности $Ra \leq 2,5$ мкм, износу по задней поверхности инструмента $h_s \leq 0,4$ мм и мощности резания $N_p \leq 7,5$ кВт обеспечивают максимальную производительность инструмента:

$$F = 10^{-3} \cdot S \cdot V \cdot T = \max, \quad (3)$$

$$C_1 \cdot t^{a_{11}} \cdot S^{a_{12}} \cdot V^{a_{13}} \cdot T^{a_{14}} \leq [Ra], \quad (4)$$

$$C_2 \cdot t^{a_{21}} \cdot S^{a_{22}} \cdot V^{a_{23}} \cdot T^{a_{24}} \leq [h_z], \quad (5)$$

$$C_3 \cdot t^{a_{31}} \cdot S^{a_{32}} \cdot V^{a_{33}} \cdot T^{a_{34}} \leq [N_p]. \quad (6)$$

Целевую функцию и ограничения-неравенства путем логарифмирования можно привести к линейному виду

$$\ln V + \ln T = \max, \quad (7)$$

$$a_{13} \cdot \ln V + a_{14} \cdot \ln T \leq \ln \left(\frac{[Ra]}{C_1 \cdot t^{a_{11}} \cdot S^{a_{12}}} \right), \quad (8)$$

$$a_{23} \cdot \ln V + a_{24} \cdot \ln T \leq \ln \left(\frac{[h_z]}{C_2 \cdot t^{a_{21}} \cdot S^{a_{22}}} \right), \quad (9)$$

$$a_{33} \cdot \ln V + a_{34} \cdot \ln T \leq \ln \left(\frac{[N_p]}{C_3 \cdot t^{a_{31}} \cdot S^{a_{32}}} \right). \quad (10)$$

Объектом исследования служили пластины из высокопрочной композиционной керамики (ВКК: оксидно-нитридной керамики ($Al_2O_3+10\%AlN$) и безвольфрамовой твердосплавной подложки ($TiC-Ni,Mo$) [2]) квадратной формы по ГОСТ 19042 без отверстия 03111-0363 (по стандарту ISO 1832 SNUN 120408TR), размерами $12,7 \times 12,7 \times 4,76$ мм, с радиусом при вершине $r = 0,8$ мм, фаской на передней поверхности и диаметром вписанной окружности $d = 5,16$ мм, с углом $\beta = 90^\circ$, без покрытия и с покрытием (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N.

Для эксперимента использовали пластины производства Всероссийского научно-исследовательского института твердых сплавов (ВНИИТС), состав и основные свойства которых показаны в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства РК и твердого сплава подложки

Материал	Плотность $\rho \cdot 10^3, \text{ кг/м}^3$	Микро- твердость HV ₃₀ , МПа	Прочность при изгибе $\sigma_{изг}, \text{ МПа}$
Керамика на основе Al_2O_3	3,94	17100	550
Керамика на основе $Al_2O_3 - 10\% AlN$	3,98	18350	540
Твердый сплав $TiC - Ni,Mo$	6,00	HRA 88,5	1100
Полученный ВКК	—	—	950

Для получения многослойно-композиционных покрытий использовали процессы фильтруемого вакуумно-дугового осаждения (ФВДО), которые реализовывали на установке ВИТ-2 конструкции СТАНКИН-ЭКОТЕК, оснащенной устройствами для фильтрации пароионного потока, гашения микродуг, динамического смешивания газов, получения высокоэнергетических ионов.

Для эксперимента использовали резцы с механическим креплением сменной многогранной пластины (СМП) по ГОСТ 19058 производства Свердловского инструментального завода (СИЗ) – по стандарту ISO 1832 – CSSNR2516M12. Геометрические параметры режущей части проходного резца: $\gamma = -8^\circ$; $\gamma_\phi = -24^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\phi = 45^\circ$; $\phi_1 = 45^\circ$; $\lambda = 0$.

В качестве обрабатываемого материала использовали сталь ХВГ HRC 58..60 (ГОСТ 5950).

Точение стали ХВГ осуществляли на станке мод. 16К20 ОАО «Красный пролетарий» для широкого диапазона изменения режимов резания (n, t, S, T). Станок мод. 16К20 по точности и жесткости соответствовал регламентам ГОСТ 8-82, ГОСТ 18097.

Для получения необходимой информации о составляющей силы резания P_z использовали универсальный тензометрический динамометр конструкции ВНИИ УДМ – 600, для изме-

рения износа по задней поверхности h_3 – большой инструментальный микроскоп БМИ-1Ц, для контроля и определения шероховатости обработанной поверхности заготовки Ra – профилометр TR200 фирмы TIME Group Inc., Япония.

Мощность резания определяли по зависимости:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{6 \cdot 10^3}, \text{ кВт.} \quad (11)$$

Согласно методике, представленной в работе [2], построены математические модели резания закаленной стали режущим инструментом, оснащенного СМП из ВКК без покрытия и с покрытием (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N. Для удобства значения коэффициентов C , экспонентов a_i математической модели сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Параметры математической модели резания

		ВКК	ВКК – (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N
Ra	C_1	2,988	2,703
	a_{11}	0,873	0,670
	a_{12}	0,884	1,040
	a_{13}	0,495	0,465
	a_{14}	0,630	0,482
h_3	C_2	$2,454 \cdot 10^{-4}$	$2,348 \cdot 10^{-3}$
	a_{21}	1,128	0,020
	a_{22}	0,098	0,540
	a_{23}	1,723	0,980
	a_{24}	0,591	0,305
N_p	C_3	$2,032 \cdot 10^{-3}$	0,149
	a_{31}	0,968	1,030
	a_{32}	1,165	0,252
	a_{33}	0,743	-0,348
	a_{34}	0,116	0,226

Нахождение оптимальных режимов резания можно решить графической задачей, потому что число факторов, которые необходимо определить, равны двум. На рисунке 1 показано графическое решение данной задачи.

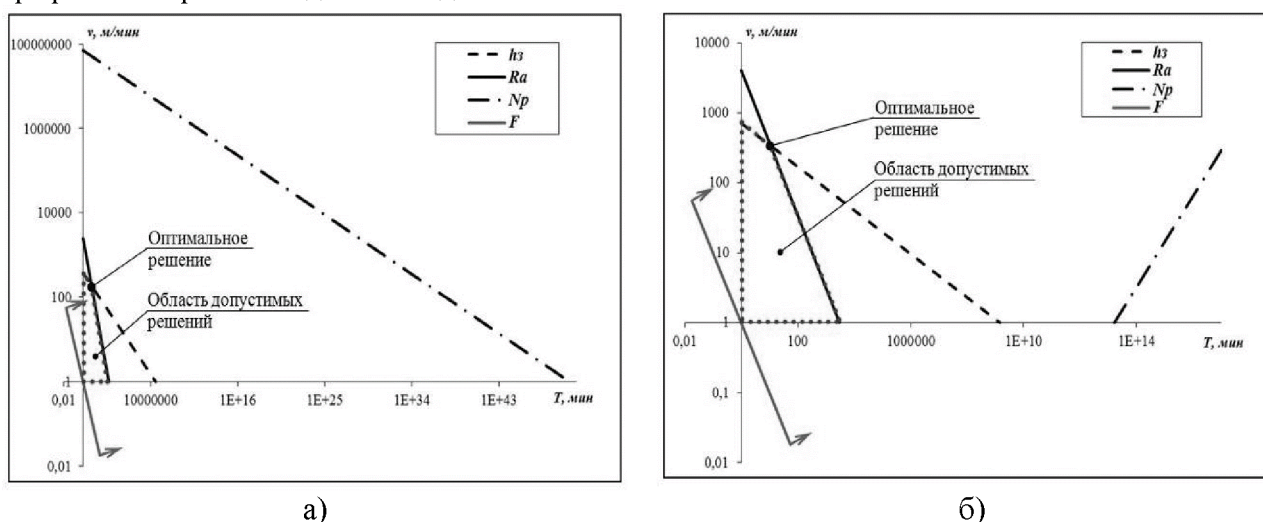


Рисунок 1 – Графическое решение задачи оптимизации режимов резания инструментом из ВКК без покрытия (а) и с покрытием (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N (б) при сухом точении (ОМ – сталь ХВГ HRC 58..60; $a_p = 0,1$ мм; $f = 0,1$ мм/об)

Значения оптимальных режимов резания и максимальных значениях целевой функции

приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения оптимальных режимов резания и максимальных значений целевой функции

Инструментальный материал	v , м/мин	T , мин	F , м ²
ВКК	188,052	7,558	0,142
ВКК – (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N	331,253	11,112	0,368

Инструмент, оснащенный СМП из ВКК с покрытием (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N, в общем случае позволяет значительно повысить эффективность обработки по сравнению с инструментом из ВКК без покрытия.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить возможность повышения режущих свойств инструмента, оснащенного СМП из ВКК, путем применения многослойно-композиционных покрытий.

Установлено, что при продольном точении стали ХВГ инструмент, оснащенный СМП из ВКК с покрытием (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N, в общем случае позволяет в 2..2,5 раза повысить эффективность обработки по сравнению с инструментом из ВКК без покрытия.

Литература

1. Верещака А.С. Некоторые тенденции развития технологической производственной среды. // СТИН. № 8. 2009. с. 9-14
2. Сотова Е.С. Повышение эффективности резания закаленных сталей путем применения высокопрочной композиционной керамики с многослойно-композиционными покрытиями. // Дис. на соиск. уч. ст. к.т.н. М.: МГТУ «СТАНКИН», 2011.
3. Шарипов О.А. Повышение эффективности и обеспечение надежности резания инструментом из твердого сплава с износостойким покрытием: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: МГТУ «Станкин», 1992. 198 с.

Виртуальная координатно-измерительная машина

к.т.н. проф. Суслин В.П., к.т.н. доц. Джунковский А.В., Поповкин А.В., Холодов Д.А.
 Университет машиностроения
 8(495) 223-05-23 доб.1392, 1472, labsapr@narod.ru

Аннотация. В статье рассмотрены принципы построения и реализации виртуальной координатно-измерительной машины (КИМ), позволяющей разрабатывать на ПК управляющие программы для реальных КИМ, не занимая их производственное время. В разработке виртуальной КИМ особое внимание уделено повышению реалистичности моделирования измерений на экране ПК и повышению быстродействия программных модулей для создания режима реального времени.

Ключевые слова: измерения, координатно-измерительная машина, виртуальная КИМ, координатные измерения, управляющая программа.

Эффективное использование дорогостоящего производственного оборудования снижает себестоимость продукции и повышает ее конкурентоспособность. Максимальная загрузка оборудования достигается при его использовании по прямому назначению без отвлечения на вспомогательные операции. Примером могут быть координатно-измерительные машины (КИМ), стоимость которых составляет миллионы и даже десятки миллионов рублей.

В производстве на КИМ осуществляют контроль правильности геометрии деталей, что позволяет на ранней стадии определить и исправить ошибки технологических процессов. Измерения деталей, как правило, осуществляется в автоматическом режиме по заранее подготовленным управляющим программам (УП). Чаще всего для подготовки управляющих программ используется сама КИМ. Оператор вручную производит измерения детали, а спе-