

SEMENOV I. N. Pulse method of diagnostics of hydrofitted transmissions of passenger cars

A study was carried out on the impact of surge pressure increase on the condition of elements of hydraulic transmissions of passenger cars. Experience has been established to detect destabilization of the process of changing the rotation speeds of the turbine wheel shaft of the torque converter. Possible use of information obtained by pulse method of diagnostics is proposed.

621.92

Введение. В условиях увеличения объема производства выпущаемого металла растут и потери, вызванные коррозией, которые приводят к выходу из строя изделий и сооружений, а также к нарушению технологических процессов и простоям оборудования. Ежегодно от коррозии теряется количество металла, равное 10 % от выплавляемого. Поэтому важнейшее направление экономии металла – правильная защита от коррозии. Одним из путей решения этой задачи является применение коррозионностойких сталей.

Повышение объема производства сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь в первую очередь связано с повышением качества и совершенствованием различных процессов металлообработки. Управление качеством поверхности с учетом функционального назначения детали является одной из актуальных проблем. Качество произведенных изделий в промышленности устанавливаются величиной отклонений размеров, формы, взаимного расположения элементов деталей и параметров шероховатости поверхности. При выборе оптимальных условий для формирования высокого качества обработанной поверхности при обработке металлов резанием следует учесть влияние на шероховатость кинематики процесса резания, микрогеометрии режущего инструмента, жесткости технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь», микроструктуры и состава обрабатываемого материала, а также применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) [1]. Построение математической модели позволит количественно оценить степень влияния тех или иных факторов на показатели процесса резания, осуществить выбор наиболее важных и определить те, которые могут быть использованы при управлении технологического процесса.

Цель данного исследования – установление рациональных режимов резания и оценки влияния технологических факторов для обеспечения необходимого качества обрабатываемой поверхности коррозионностойкой стали при применении СОЖ на основе отходов масложирового производства.

Коррозия вызывает разрушение металла под действием внешней агрессивной среды в результате ее химического или электрохимического воздействия. Коррозионная стойкость материала достигается при введении в сталь элементов, образующих на ее поверхности тонкие и прочные оксидные пленки [2–4]. Коррозионностойкие стали обрели высокую популярность не только благодаря антикоррозийным свойствам, но также за счет разнообразия физических свойств, достигаемых путем добавления к стали различных легирующих добавок [2–5]. На сегодняшний день коррозионностойкие стали широко используются в различных отраслях промышленности, а именно в машиностроении, химической, энергетической и целлюлозно-бумажной промышленности, а также в строительстве и авиационно-космической сфере. В сельском хозяйстве из коррозионностойких сталей изготавливаются кормушки, поилки для животных, нержавеющие емкости для хранения химических реагентов и удобрений, емкости для хранения и транспортировки жидкостей и для хранения и сбережения зерна и се-

мян, а также прочих сыпучих продуктов [6].

Лезвийную обработку коррозионностойких сталей можно разделить на три этапа: предварительный (черновая обработка), промежуточный (получистовая обработка) и окончательный (чистовая обработка). Каждый этап характеризуется своими особенностями по выбору режимов резания коррозионностойких сталей и спецификой применения инструмента [7].

Одним из путей обеспечения высокого качества обработанной поверхности и эксплуатационных свойств обрабатываемых поверхностей, которые обязаны отвечать экологическим и санитарно-гигиеническим условиям труда и обладать комплексом антикоррозионных, моющих и других эксплуатационных свойств, является правильный выбор и использование смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Современные СОТС являются обязательной частью большинства технологических процессов обработки металлов и обеспечивают эффективную эксплуатацию оборудования.

На сегодняшний день существует большой ассортимент СОТС, обладающих различными физико-химическими и технологическими свойствами, применяющихся для различных видов обработки металлов. Среди множества видов СОТС самыми распространенными в промышленности являются СОЖ, обладающими комплексом функциональных свойств: смазывающих, охлаждающих, моющих и диспергирующих, которые проявляются в соответствующих воздействиях СОЖ на процесс резания [8]. Применение СОЖ благоприятно воздействует на процесс резания металлов: увеличивает производительность обработки, снижает шероховатость обработанной поверхности, повышает точность изготовленных деталей и снижает брак [9].

Применение большинства современных СОЖ с высоким содержанием нефтяных масел приводит к значительным расходам природных ресурсов и образованию большого количества нефтесодержащих отходов. Нефтяные масла токсичны, взрывоопасны и негативно влияют на здоровье человека. Решение данной проблемы состоит в уменьшении либо полном исключении данных компонентов. Целесообразность перехода от нефтяной основы СОЖ на продукцию из вторичных сырьевых ресурсов (отходов масложирового производства и побочных продуктов их переработки) обеспечит не только хорошие экологические свойства СОЖ, но и улучшит технологические показатели при различных методах обработки. Одним из путей решения задачи повышения эффективности обработки металлов резанием является разработка эффективных составов, технологии приготовления и применения СОЖ. В нашей работе для исследования выбрана СОЖ ТУ 100185315.001-2012, представляющая собой отходы масложировой промышленности, щелочные агенты, триэтаноламиновое мыло олеиновой кислоты и другие компоненты [10].

Методика экспериментальных исследований. Из параметров режимов резания наиболее существенное влияние на величину шероховатости поверхности оказывают скорость резания V и подача S

Дечко Михаил Михайлович, к. т. н., доцент кафедры моделирования и проектирования Белорусского государственного аграрного технического университета.

Сергеев Кирилл Леонидович, старший преподаватель кафедры механики материалов и деталей машин Белорусского государственного аграрного технического университета.

Дубновицкий Сергей Константинович, аспирант кафедры технологии металлов Белорусского государственного аграрного технического университета.

Беларусь, БГАТУ, 220023, г. Минск, проспект Независимости, 99.

инструмента [1]. Распределение частиц масляной фазы R эмульсии СОЖ по размерам также имеет важное значение, так как даже относительно небольшое количество крупных частиц дисперсной фазы ускоряет процесс коагуляции. Повышение дисперсности масляной фазы эмульсии СОЖ приводит к повышению функциональных и эксплуатационных свойств смазочной жидкости на режущее и смазывающее действие в процессе различных видов обработки [11]. В качестве параметров оптимизации, характеризующих качество поверхности, была принята шероховатость, оцениваемая показателями Ra и Rz (мкм).

Для проведения всех этапов экспериментального исследования был выбран предлагаемый состав СОЖ на основе отходов масложирового производства с которым осуществляли процесс диспергирования с помощью УЗ диспергатора погружного типа. Обработку вели на частоте 22 кГц при выходной мощности генератора 20 Вт в несколько этапов (с перерывами в 1–2 мин) общей длительностью 30 мин. Перед обработкой, а также по окончании каждого этапа обработки брали пробы эмульсии СОЖ и определяли в них средний размер R частиц масляной фазы с помощью компьютерного микроскопа. Концентрация масляной фазы эмульсии СОЖ = 50 г/л. Обрабатываемый материал – сталь 12Х18Н10Т. Согласно рекомендациям [7] использовали резец с пластиной из твердого сплава Т15К6 ГОСТ 18877-73. Исследования проводились на токарно-винторезном станке 95ТС-1 на заготовках цилиндрической формы диаметром 40–60 мм. Исходная шероховатость поверхности образцов составляла в среднем $Ra = 5$ мкм. Измерения шероховатости поверхности проводилось на цифровом измерителе TR-200 в соответствии с ГОСТ 2789-73. Численные значения параметров шероховатости измерялись в различных точках обработанной детали (от пяти до десяти точек) и находилось их среднее значение. Для анализа размеров частиц масляной фазы СОЖ использовалась интегрированная среда обработки и анализа растровых изображений AutoScan Studio 3.0 [12], которая предназначена для решения научных задач, связанных с анализом и обработкой цифровых изображений.

На первом этапе проведения экспериментов исследовалось влияние изменения параметров шероховатости поверхности при варьировании подачи S и скорости резания V для определения диапазонов рациональных режимов резания коррозионностойкой стали для дальнейшего проведения многофакторного эксперимента.

На рисунке 1 показана зависимость параметра шероховатости поверхности Ra от скорости резания V при подаче $S = 0,1$ мм/об и глубине резания $t = 0,5$ мм. Средний размер частиц масляной фазы эмульсии СОЖ составлял $R = 5$ мкм.

Из рисунка 1 видно, что наиболее рациональный диапазон скорости резания для обеспечения шероховатости поверхности при точении коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т находится в пределах 100–200 м/мин. Для скоростей 50 м/мин, 150 м/мин и 300 м/мин на рис. 2 приведены поверхности.

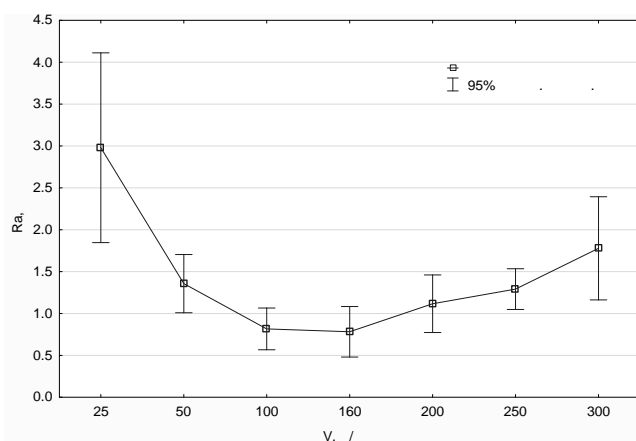


Рисунок 1 – Влияние скорости резания V на шероховатость поверхности Ra

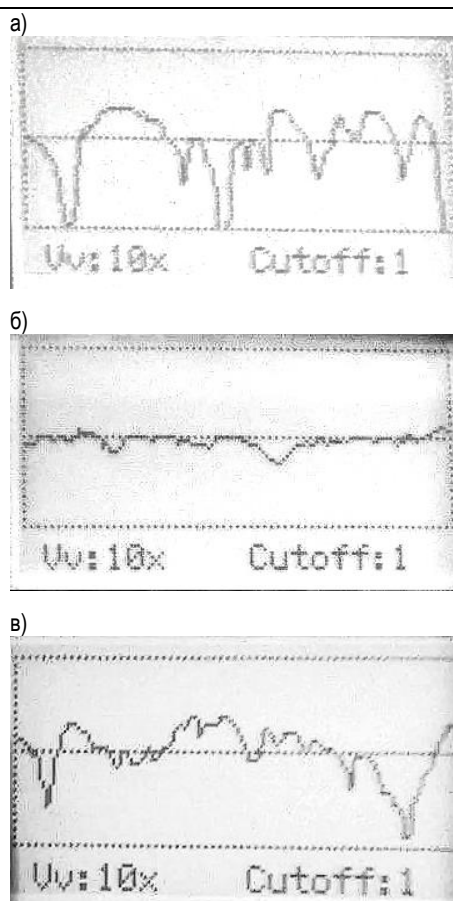


Рисунок 2 Профилеграммы обрабатываемой поверхности при $V = 50$ м/мин (а), $V = 150$ м/мин (б) и $V = 300$ м/мин (в)

При обработке стали 12Х18Н10Т можно наблюдать разницу между величинами параметров R и Rz при малых скоростях резания V , что говорит о том, что шероховатость носит нерегулярный характер (рис. 2а). На профилеграмме поверхности детали после обработки со скоростью 50 м/мин видны четкие следы инструмента в виде борозд, которые значительно превышают среднее значения высоты профиля на других участках. Это говорит о наличии наростообразования при этих условиях резания. В данной зоне образования нароста значение параметра Rz значительно превышает значение параметра Ra . Вершина нароста, выступая впереди лезвия резца и ниже его вершины, увеличивает шероховатость лезвия, формирующего обработанную поверхность, оставляет на поверхности среза глубокие борозды и разрывы, которые влияют на значение параметра Rz больше чем на параметр Ra . При скоростях резания выше 300 м/мин величина шероховатости начинает увеличиваться по сравнению с зоной наиболее рационального резания. Это связано с возникновением колебаний при большой скорости резания [13]. На рисунке 2в показана профилеграмма поверхности детали после обработки со скоростью 300 м/мин и на ней видны следы колебаний. Колебания инструмента отражаются на поверхности и увеличивают численные значения параметров ее шероховатости. Соотношение параметров Ra и Rz снова начинает увеличиваться.

Для определения влияния подачи S и скорости резания V на параметр шероховатости поверхности Ra выполнено экспериментальное исследование, условия проведения которого и полученные результаты представлены в табл. 1. Статистический анализ результатов показал, что исследуемая зависимость адекватно описывается неполным кубическим уравнением:

$$R = 0,7223 - 0,1591X_1 + 0,5187X_1^2 + 0,3501X_2^2 - 0,1688X_1^2X_2 + 0,1924X_1X_2^2.$$

Таблица 1 – План эксперимента, результаты опытов и статистический анализ зависимости шероховатости поверхности Ra от режимов точения коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т

№	Натуральные значения факторов		Нормированные значения факторов		Экспериментальные, расчетные значения параметра и их дисперсии						
	V , м/мин	S , мм/об	X_1	X_2	$Ra_{1'}$, мкм	$Ra_{2'}$, мкм	$Ra_{3'}$, мкм	Ra , мкм	S^2	Ra , мкм	S_R^2
1	100	0.05	-1	-1	1.481	2.093	1.791	1.788	0.03071	1.793	0.00002
2	100	0.1	-1	-1/3	0.987	0.994	1.023	1.001	0.00024	1.198	0.03881
3	100	0.15	-1	1/3	1.325	1.004	1.293	1.207	0.02084	1.086	0.01464
4	100	0.2	-1	1	1.621	1.491	1.499	1.537	0.00354	1.456	0.00656
5	150	0.05	0	-1	0.965	1.119	0.931	1.005	0.00669	1.072	0.00449
6	150	0.1	0	-1/3	0.657	1.006	1.014	0.892	0.02770	0.761	0.01716
7	150	0.15	0	1/3	0.758	0.803	0.787	0.783	0.00035	0.761	0.00048
8	150	0.2	0	1	1.019	1.032	0.911	0.987	0.00294	1.072	0.00723
9	200	0.05	1	-1	1.911	1.733	2.045	1.896	0.01633	1.727	0.02856
10	200	0.1	1	-1/3	1.631	1.381	0.982	1.331	0.07143	1.474	0.02045
11	200	0.15	1	1/3	1.595	1.494	1.194	1.428	0.02900	1.361	0.00449
12	200	0.2	1	1	1.681	1.005	1.201	1.296	0.08064	1.389	0.00865

Полученная зависимость, представленная на графике (рис. 3) в виде сечений поверхности отклика линиями равных уровней, показывает, что минимальная шероховатость достигается при скорости резания $V = 158$ м/мин и подаче $S = 0,125$ мм/об.

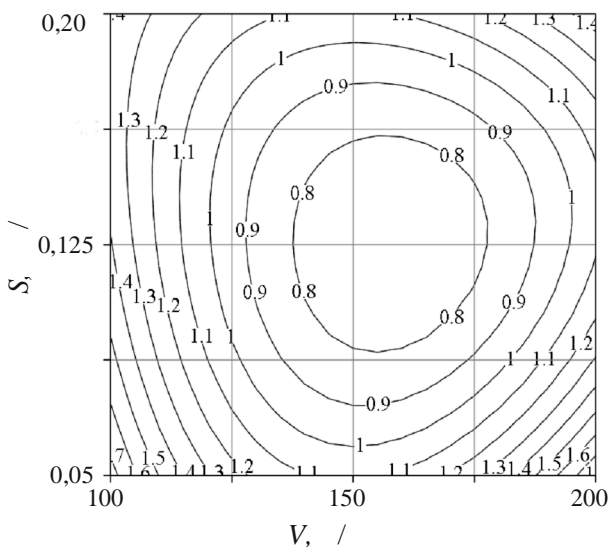


Рисунок 3 – Зависимость параметров шероховатости Ra поверхности от подачи инструмента S при разных скоростях резания V

При малых подачах S происходит сильная деформация обрабатываемого материала и поэтому параметр шероховатости Ra возрастает. При разных скоростях резания V можно наблюдать различные минимальные значения параметров шероховатости Ra . Проведенные исследования позволили определить зону устойчивого резания – диапазон скоростей V резания от 100 до 200 м/мин и в диапазоне подач S от 0,1 до 0,2 мм/об. В этой зоне и рекомендуется проводить обработку.

Вторым этапом исследования является проведение многофакторного эксперимента для определения зависимостей параметров оптимизации закономерно изменяющегося качества поверхностного слоя от факторов – режимов резания (среднего размера R частиц масляной фазы эмульсии СОЖ, подачи S и скорости резания V). На основе рекомендаций по выбору оптимальных режимов резания для коррозионностойких сталей [7] был осуществлен выбор факторов, выступающих в качестве параметров оптимизации многофакторного эксперимента. Для проведения многофакторного экспери-

мента выбраны следующие интервалы варьирования режимов резания: скорость резания $V = 100$ –200 м/мин; подача $S = 0,1$ –0,2 мм/об; средний размер R частиц масляной фазы эмульсии СОЖ 1–5 мкм.

Для оценки влияния варьируемых факторов на параметры шероховатости обработанной поверхности реализован полный факторный эксперимент 2^3 (табл. 2).

Анализа дисперсий экспериментальных значений в дублированных опытах показал, что оценка шероховатости по параметру Ra дает более стабильные результаты, что прогнозировалось, так как для его расчета используется интегральная характеристика микропрофиля, в то время как для расчета Rz выбирается 10 крайних точек. Поэтому для анализа влияния технологических факторов на качество поверхности параметр Ra является предпочтительным. Многочисленные исследования влияния режимов резания на шероховатость показывают, что в интервалах их варьирования, близких к исследованным в нашем эксперименте, адекватными являются степенные модели.

Как следует из результатов статистического анализа (см. табл. 2), полученная модель адекватна по критерию Фишера. При этом статистически значимыми являются только три главных фактора, что приводит к линейному уравнению регрессии. Однако известно, что зависимость шероховатости от режимов резания наилучшим образом аппроксимируется степенными функциями [14], то есть зависимость шероховатости от режимов резания при работе фиксированным инструментом будет выражаться формулой:

$$R(Rz) = V^a S^b R_{cp}^d,$$

где V – скорость резания, м/мин;

S – подача, мм/об;

R – средний размер частиц масляной фазы эмульсии СОЖ, мкм;

– коэффициент, зависящий от геометрии и материала инструмента;

a, b и d – показатели степени V, S и R соответственно.

Расчет коэффициентов такой модели может быть выполнен на основе результатов уже реализованного эксперимента 2^3 (см. табл. 2) методом нелинейной регрессии, реализованным в программном пакете Statistica. В результате получено следующее уравнение, которое может быть использовано для прогнозирования шероховатости в условиях обработки, подобных применявшимся в нашем эксперименте:

$$Ra = 1,05 V^{0,34} S^{0,34} R_{cp}^{0,13}.$$

Заключение. По результатам проведения многофакторного эксперимента было получены регрессионные уравнения зависимости шероховатости поверхности Ra от режимов резания и среднего размера R масляных частиц предлагаемого состава эмульсии СОЖ по ТУ 100185315.001-2012. Проведенные экспериментальные исследования

Таблица 2 – План эксперимента, результаты опытов и статистический анализ зависимости шероховатости поверхности Ra от технологических факторов

№	Натуральные значения факторов			Нормированные значения факторов				Экспериментальные, расчетные значения параметра и их дисперсии						
	V , м/мин	S , мм/об	R , мм	X_0	X_1	X_2	X_3	$Ra_{1'}$, мкм	$Ra_{2'}$, мкм	$Ra_{3'}$, мкм	Ra , мкм	S^2	Ra , мкм	S_R^2
1	100	0,1	0,001	1	-1	-1	-1	0,494	1,161	0,971	0,875	0,118	0,857	0,000
2	100	0,1	0,005	1	-1	-1	1	1,024	1,175	1,023	1,074	0,008	1,113	0,002
3	100	0,2	0,001	1	-1	1	-1	1,430	1,268	1,207	1,302	0,013	1,162	0,020
4	100	0,2	0,005	1	-1	1	1	0,851	1,783	1,261	1,298	0,218	1,418	0,014
5	200	0,1	0,001	1	1	-1	-1	0,914	1,399	1,216	1,176	0,060	1,145	0,001
6	200	0,1	0,005	1	1	-1	1	1,399	1,481	1,288	1,389	0,009	1,401	0,000
7	200	0,2	0,001	1	1	1	-1	1,357	1,418	1,004	1,260	0,050	1,450	0,036
8	200	0,2	0,005	1	1	1	1	1,865	1,711	2,05	1,875	0,029	1,706	0,029
Статистически значимые коэффициенты регрессии				b_0	b_1	b_2	b_3	S_b^2	Остаточная сумма квадратов					0,102
				1,281	0,144	0,153	0,128	0,00263	Критерий Фишера		экспериментальный		1,207	
Незначимые коэффициенты регрессии				b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}	Δb			критический		3,007	
				-0,010	0,079	0,025	0,076	0,109						

позволили определить зону устойчивого резания. Эта зона находится в диапазоне скоростей резания V для коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т от 100 до 200 м/мин и в диапазоне подач S от 0,1 до 0,2 мм/об. В этой зоне и рекомендуется проводить обработку резанием.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Сергеев, К. Л. Влияние технологических факторов на величину шероховатости при обработке металлов резанием / К. Л. Сергеев, В. М. Козловская, К. Ю. Белая // Техсервис-2019 : материалы научно-технической конференции студентов и магистрантов. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 225–229.
- Андрушевич, А. А. Материаловедение : пособие / А. А. Андрушевич, Т. К. Романова. – Минск : БГАТУ, 2010. – 120 с.
- Бородулин, Г. М. Нержавеющая сталь / Г. М. Бородулин, Е. И. Мошквич. – М. : Металлургия, 1973. – 319 с.
- Арзамасов, Б. Н. Материаловедение : учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – Изд. 3-е, стереотип. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 648 с.
- Гуляев, А. П. Материаловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев [и др.]. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.
- Нержавеющая сталь вокруг нас // Феникс. Группа компаний [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа : <https://gkfenix.ru/articles/nerzhaveyushchaya-stal-vokrug-nas/> – Дата доступа : 10.08.2019.
- Гуревич, Я. Л. Режимы резания труднообрабатываемых материалов : справочник / Я. Л. Гуревич [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 240 с.
- Виноградов, Д. В. Применение смазочно-охлаждающих технологических средств при резании металлов : учебное пособие по курсу «Инструментальное обеспечение машиностроительных предприятий» / Д. В. Виноградов. – Ч. 1 : Функциональные действия. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. – 90 с.
- Худобин, Л. В. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием : справочник / Л. В. Худобин. – Москва : Машиностроение, 2006. – 544 с.
- Сергеев, К. Л. Эффективное применение продукции технического назначения из вторичных сырьевых ресурсов для улучшения технологических показателей при обработке металлов резанием / К. Л. Сергеев, А. А. Лиора // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: Материалы XVIII Международ. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 146–149.
- Латышев, В. Н. Повышение эффективности СОЖ / В. Н. Латышев. – Москва : Машиностроение, 1975. – 89 с.
- AutoScan: программный комплекс обработки и анализа изображений [Электронный ресурс]. PDF-документ (7,45 МБ). – ЗАО Спектроскопические системы, 2009.
- Мурашкин, С. Л. Технология машиностроения. Колебания и точность при обработке материалов резанием : учеб. пособие / Под редакцией С. Л. Мурашкина. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 280 с.
- Ящерицын, П. И. Теория резания : учеб. / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск : Новое знание, 2006. – 512 с.

13.11.2019

DECHKO M. M., SERGEEV K. L., DUBNOVITSKY S. K. Surface quality ensuring of corrosion-resistant steel when using lubricant coolant based on oil and fat production waste

The article presents the set of experimental results on establishing the efficient range of cutting modes of operation and assessing the influence of technological factors to ensure the required quality of the processed surface of corrosion-resistant steel when using lubricant coolant based on oil and fat production waste. The conducted experimental studies allowed to determine the zone of stable cutting. A complete factorial experiment 2^3 was implemented in order to assess the influence of variable factors on the processed surface roughness parameters and the regression equations are obtained that show how, to what extent, one or another factor affects the optimization parameter.