

УДК 621.9.026

Г.И. Костюк, д-р техн. наук,
А.И. Филипенко, д-р техн. наук,
К.П. Исяк,
А.Н. Костюк

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 30X14A РИ С ПОКРЫТИЕМ 0,8ZRN+0,2HFN И БЕЗ НЕГО

Введение

При чистовом точении основным критерием износа является удовлетворение требуемой шероховатости, причем эти требования особенно жестки для деталей приборостроения и точного машиностроения. В то же время работ, посвященных применению покрытий при чистовом точении, очень мало [1 – 7], хотя обработка длинных деталей и применение режущих инструментов (РИ) для обработки деталей на станках с ЧПУ или в обрабатывающих центрах не позволяет часто заменять РИ, что требует их высокой стойкости. Все это говорит об актуальности выполненного исследования.

В то же время для получистового и чернового точения исследований достаточно, результаты которых обобщены в работах [1 – 7].

Для развития научного подхода к чистовой обработке проведем исследования шероховатости и влияния на нее износа РИ, а также взаимосвязи режимов резания и шероховатости, что позволит прогнозировать получаемую шероховатость, что, в свою очередь, даст возможность выбирать режимы резания, глубины резания, подачи, а также мощности резания при получаемых шероховатостях R_a и R_z для материала РИ с покрытием, тогда как для РИ из Т15К6 без покрытия их можно получить умножив примерно на 1.1, что позволит найти режимы резания с требуемой шероховатостью.

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования и науки "Новые и ресурсосберегающие и технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе" (подсекция 13 – "Аэрокосмическая техника и транспорт") и по темам "Создание физико-технических основ повышения качества материала аэрокосмических конструкций" и "Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники", а также в рамках хоздоговорных работ и договоров о сотрудничестве.

1. Условия эксперимента

Чистовое точение нержавеющей стали практически не изучено. Между тем этот процесс в последнее время успешно заменяет во многих случаях шлифование. Широкое применение нержавеющей стали в приборостроительном машиностроении требует исследования влияния покрытия на шероховатость обрабатываемой поверхности, износ резца с покрытием и без него, деформирования стружки.

В качестве обрабатываемого материала была нержавеющая сталь 30X14A (химический состав стали 30X14A: С – 0,25...0,35 %, Cr – 12...14%, Mn ≤ 0,5%, Si ≤ 0,7 %, Ni ≤ 0,6 %, S ≤ 0,03 %, P ≤ 0,035 %. Предел прочности $\sigma_{вр} = 850$ МПа, предел текучести – 650 МПа, твердость HB = 241, критическая точка AC1 – 1100 К, коэффициент обрабатываемости резанием – 0,8). Исследование проводилось на токарном станке модели 1A62, у которого в целях получения более высокой скорости резания число оборотов было увеличено до 1850 об/мин.

Режущим инструментом являлись прямые резцы сечением 16×25 мм², оснащенные твердым сплавом T15K6. Резцы тщательно затачивались, а затем притирались на чугунном притире карбидом бора зернистостью 180-220. Качество доводки резцов проверялось на инструментальном микроскопе. Радиус скругления вершины резца проверялся там же, на РИ наносилось покрытие 0,8ZrN+0,2HfN.

Измерение усилий резания проводилось с помощью двухкомпонентного электроиндуктивного динамометра и СИИТ, а измерение микронеровностей – с помощью двойного микроскопа Линника. Последний в целях удобства и большей точности замеров был установлен на суппорте станка так, что имелась возможность замерять качество поверхности в любом месте детали. Микротвердость определялась прибором ПМТ-3 при нагрузке 50 и 200 г.

В процессе исследования износ резца определялся по задним граням при помощи микроскопа.

Задача заключалась в том, чтобы подобрать такую геометрию резца, которая обеспечила бы получение малой шероховатости обработанной поверхности и одновременно достаточную стойкость резца. Исследовалось влияние φ_1 , γ , α и R на шероховатость. Вспомогательный угол в плане φ_1 изменялся в широком диапазоне от 0 до 30°. Наилучшие результаты показал угол $\varphi_1 = 1^\circ 30'$. Для случая жесткой системы «Станок – приспособление – изделие» был принят угол φ_1 , равный $1^\circ 30'$.

Передний угол изменялся в пределах $\gamma = 10...15^\circ$. Эксперимент показал, что рациональное значение переднего угла соответствует $\gamma = +5^\circ$. Задний угол варьировался от 15 до 5°. Наилучшие результаты

показал угол $\alpha = 7^\circ$. Радиус закругления вершины резца R в диапазоне от 0,5 до 2 мм. Рациональное значение радиуса закругления оказалось $R = 1$ мм.

Была принята следующая геометрия резца: $\gamma = 5^\circ$; $\alpha = 7^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 1,5^\circ$; $\alpha = 0$; $R = 1$ мм.

2. Шероховатость обработанной поверхности

Шероховатость поверхности исследовалась в зависимости от глубины резания, подачи, скорости резания и степени затупления резца (состояния режущей кромки), причем режимы резания варьировались в следующих пределах: $t = 0,25 \dots 1$ мм; $S = 0,08 \dots 0,5$ мм/об; $V = 20 \dots 360$ м/мин.

Эксперименты показали, что глубина резания в вышеуказанных пределах практически не влияет на шероховатость обработанной поверхности. Зависимость высоты неровности от скорости резания имеет максимум (рис. 1). Видно, что максимальное значение высоты неровностей соответствует скорости резания $V = 25$ м/мин и минимальному значению усадки стружки.

Шероховатость R_z имеет максимум при увеличении скорости резания как для РИ с покрытием ($V = 100$ м/мин), так и без него ($V = 40$ м/мин), причем абсолютная величина для РИ с покрытием несколько меньше (рис. 1).

Дальнейшее увеличение скорости уже несущественно влияет на шероховатость поверхности.

Исследованное влияние подачи на шероховатость при $h_3 = 0,25$ мм показано, что с увеличением подачи до $S = 0,3$ об/мин шероховатость поверхности увеличивается, дальнейшее увеличение подачи до $S = 0,5$ мм/об приводит к улучшению качества поверхности.

Увеличение подачи не всегда вызывает увеличение шероховатости поверхности, а при описанных условиях способствует ее уменьшению, причем для РИ с покрытием характер изменения шероховатости остается тем же, а величина шероховатости снижается.

Исследование шероховатости поверхности при тонком точении нержавеющей стали показали, что для получения наименьшей шероховатости не обязательно использовать режимы с малыми подачами и глубиной резания, а при скорости резания $V > 100$ м/мин можно работать с глубиной резания до 1 мм и с подачей до 0,5 мм включительно как для РИ с покрытием так и без него.

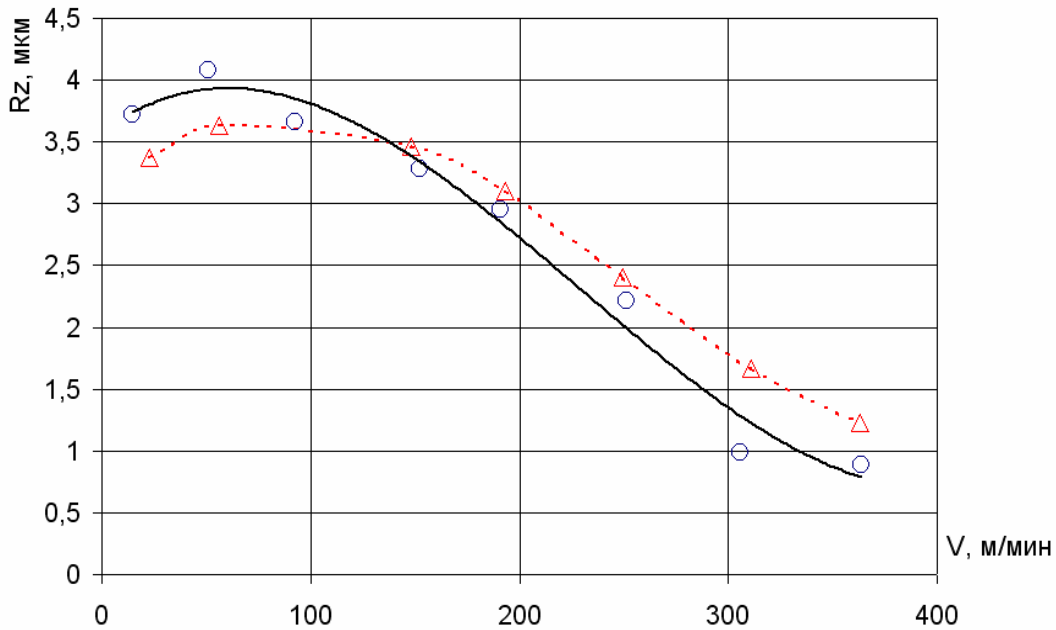


Рисунок 1 – Зависимость шероховатости R_z от скорости резания для РИ с покрытием (Δ) и без него (\circ) при $t = 0,5$ мм, $S = 0,15$ мм/об

3. Износ резца, шероховатость и критерий затупления РИ с покрытием и без него

Износ резца без покрытия происходит по задним граням и вершине резца. Образуется фаска износа, которая на главной режущей кромке и при вершине резца имеет ширину несколько большую, чем на вспомогательной кромке.

При высоких скоростях резания и относительно больших подачах (например $V = 250$ м/мин и $S > 0,2$ мм/об) износ при вершине резца получает большее значение, чем на его кромках; в этом случае износ протекает значительно интенсивнее (рис. 2).

Анализ кривых износа инструмента и кривых шероховатости поверхности приводит к выводу о том, что шероховатость поверхности увеличивается с увеличением износа до $h = 0,25-0,3$ мм сначала быстро, затем медленнее, при дальнейшем увеличении износа до $0,5$ мм шероховатость поверхности мало изменяется: при одних режимах несколько увеличивается, а в ряде случаев даже уменьшается (рис. 2).

Если принять износ по задним граням $h = 0,5$ мм как предельный, обеспечивается требуемая шероховатость. Износ же РИ с покрытием реализуется в основном по передней грани, где появляется лунка износа, тогда как задняя поверхность изнашивается менее интенсивно (рис. 2). Видно, что применение покрытия приводит к снижению шероховатости поверхности до $R_z = 0,32$ мкм (рис. 2), что говорит об эффективности применения покрытия для снижения шероховатости, а износ меняет характер: образуется лунка износа, скорость его износа

незначительна, с ростом износа по задней грани h_3 вероятность разрушения лезвия увеличивается, но при вершине обычно покрытие сохраняется и разрушается гораздо позднее, повышая стойкость до пяти раз.

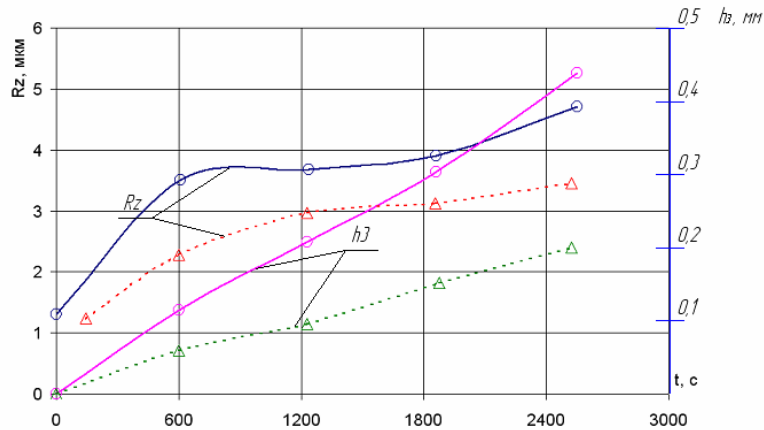


Рисунок 2 – Изменение шероховатости R_z и износа резца h_3 с покрытием $0,8ZrN+0,2HfN$ от скорости резания (Δ) и без него (\circ) при $t = 0,5$ мм, $s = 0,2$ мм, $V = 195$ м/мин

Приведено влияние скорости резания на скорость износа при различных величинах износа по задней поверхности $h_3 = 0,12; 0,2; 0,4$ мм для РИ с покрытием (-) и без него (- -), видно, что покрытие приводит к смещению износа в сторону больших скоростей резания, хотя характер этой зависимости сохраняется (рис. 3).

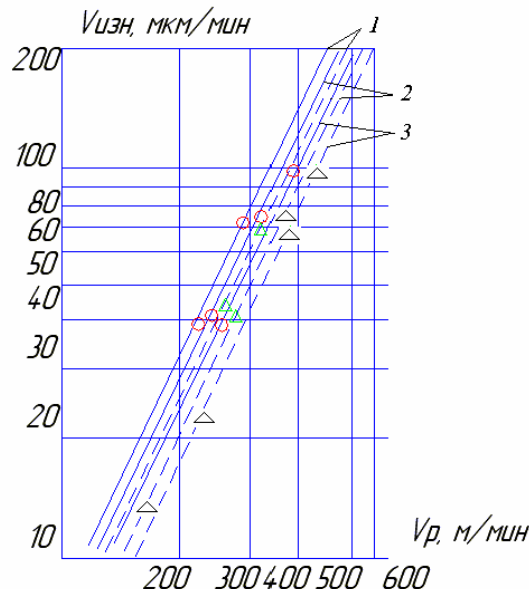


Рисунок 3 – Зависимость скорости износа по задней поверхности от скорости резания для различных величин износа по задней поверхности: 1 – $h_3 = 0,12$ мм; 2 – $0,2; 0,4$ мм для РИ с покрытием (Δ) и без него покрытия (\circ)

Использование этих кривых в зависимости от выбранного критического износа по задней поверхности позволяет прогнозировать скорость износа, а значит, и стойкость РИ:

$$T = \frac{h_3}{V_{\text{изн}}}.$$

Показано, что можно прогнозировать износ и стойкость РИ в зависимости от выбранного критерия, причем как для РИ с покрытием, так и без него.

4. Выбор режимов резания по требуемой шероховатости

На основе обработки большого числа экспериментов получены графики (рис. 4 – 11), в которых представлены режимы резания, разработанные для тонкого продольного точения нержавеющей стали 30X14A при требуемой стойкости резца, период стойкости $T = 60$ и 30 мин. Зная припуск на обработку и требуемую шероховатость обработанной поверхности, выбираем по графикам подачу и скорость резания; подачу согласовываем со степенью жесткости системы, а потребный крутящий момент – с располагаемым моментом на выбранной ступени станка.

В дальнейшем по значениям режимов резания можно прогнозировать полученную шероховатость, что даст возможность выбирать режимы резания.

На рис. 4 – 7 представлены трехмерные зависимости шероховатости R_a (рис. 4, а, б и рис. 6, а, б) и R_z (рис. 4, в, г и рис. 6, в, г) от скорости резания и подачи (а, б) и глубины резания (в, г), силы резания P_z (рис. 5 а, б и рис. 7 а, б) и потребляемой мощности N_e (рис. 5, в, г и рис. 7, б, г) от скорости резания и подачи (а, б) или глубины резания (в, г) для периода стойкости 30 (рис. 4, 5) и 60 минут (рис. 6, 7) для РИ с покрытием $0,8ZrN+0,2HfN$.

По этим графикам можно выбрать режимы обработки, требуемые скорости резания V_p , глубину резания t и подачу S , обеспечивающие требуемую шероховатость для стойкости, период стойкости $T = 30$ и 60 минут, а также найти ряд значений максимума снимаемого объема за период стойкости $G = V_p \cdot t \cdot S \cdot T \cdot 1000$ (мм^3), сравнение которых по величине позволит найти максимальный, а значит, и скорость резания, подачу и

глубину резания соответствующие наиболее эффективному режиму по снимаемому объему.

При помощи этих рисунков можно выбрать режимы резания, обеспечивающие соответствующие шероховатости R_a и R_z , а также силы резания P_z и потребляемую мощность, что позволяет найти режим обработки и соответствующее оборудование, обеспечивающее требуемую шероховатость.

Аналогичные зависимости для РИ из Т15К6 без покрытия представлены на рис. 8 – 11. Используя эти рисунки, можно выбирать режимы резания для получения требуемой шероховатости, силы резания, потребляемую мощность, а значит, найти соответствующее оборудование.

Все это свидетельствует о том, что проведенные исследования позволяют с наилучших позиций осуществлять выбор режимов резания при чистовой обработке и оборудования для точения жаростойкой стали 30Х14А.

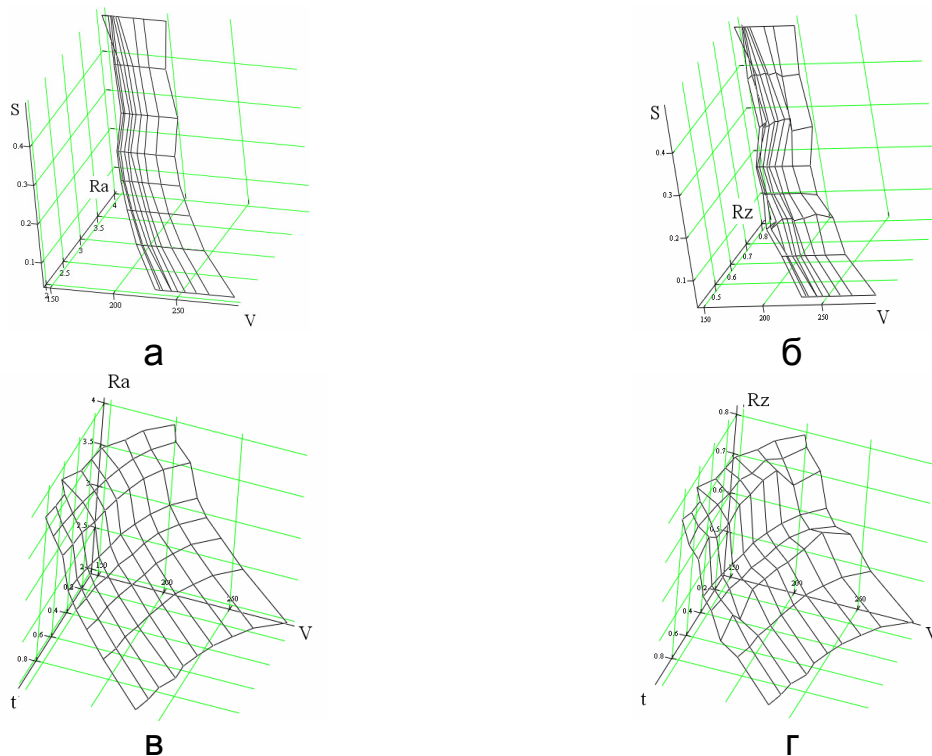


Рисунок 4 – Зависимости шероховатости R_a (а, б) и R_z (в, г) от подачи S и скорости резания V (а, б) и глубины резания t и скорости резания S (в, г), период стойкости $T=30$ мин

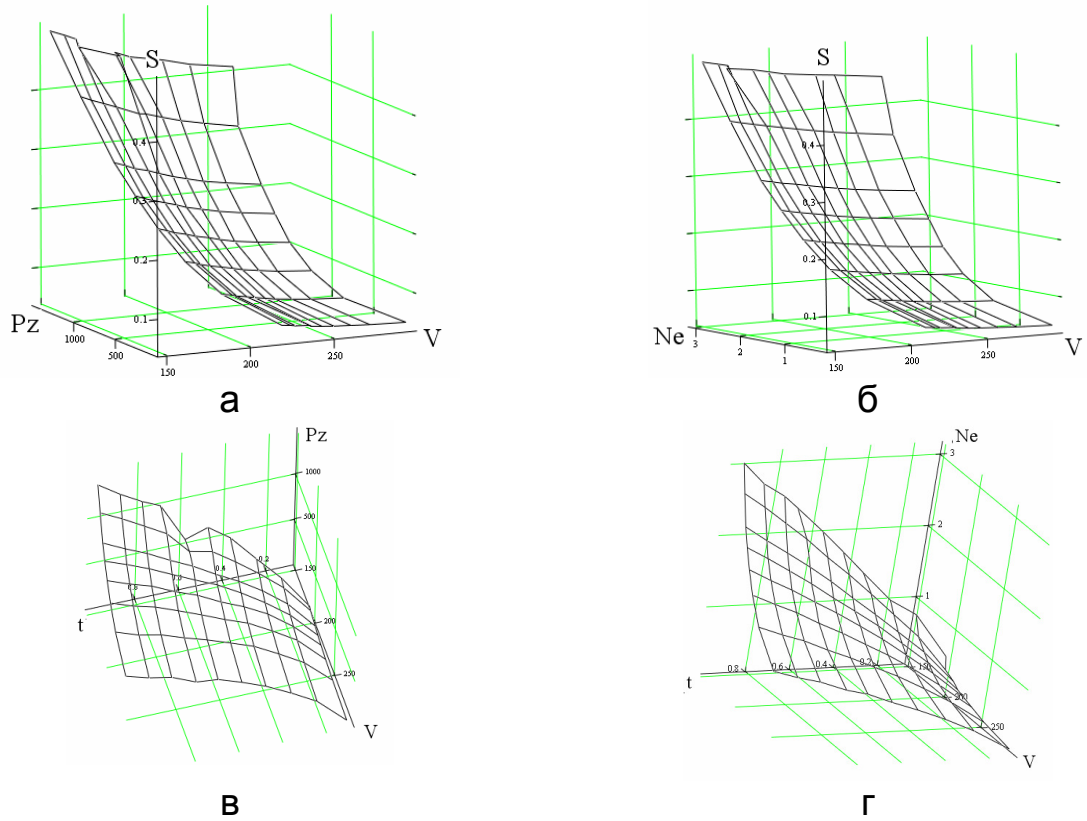


Рисунок 5 – Зависимости силы резания Pz (а, б) и потребляемой мощности Ne (в, г) от подачи S и скорости резания V (а, б) и от глубины резания t и скорости резания S (в, г), период стойкости $T=30$ мин

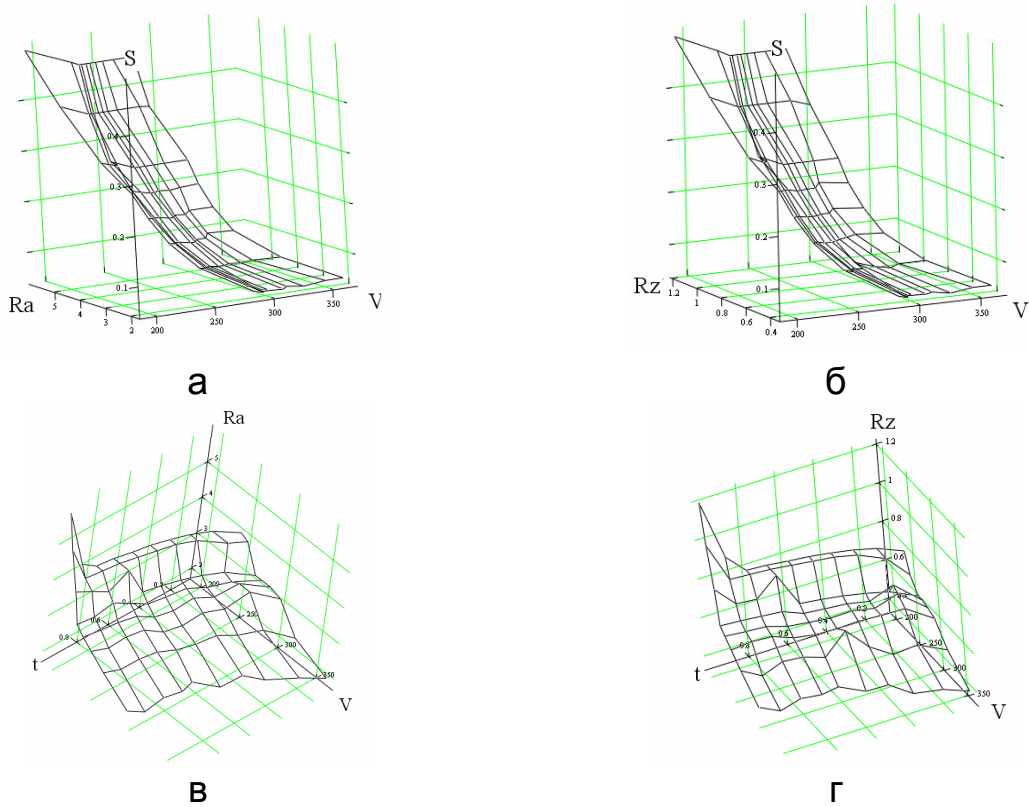
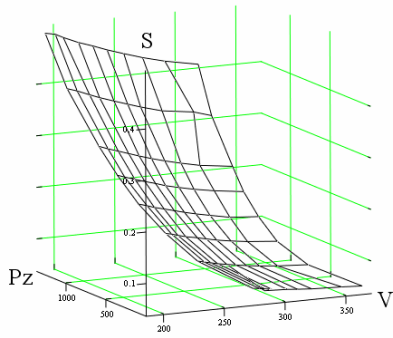
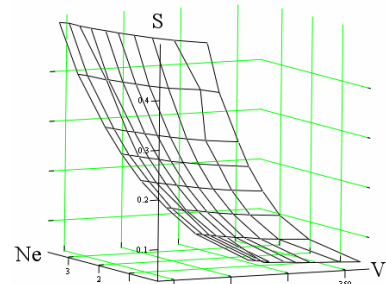


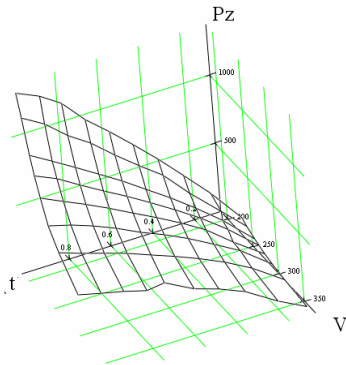
Рисунок 6 – Зависимости шероховатости Ra (а, б) и Rz (в, г) от подачи S и скорости резания V (а, б) и от глубины резания t и скорости резания S (в, г), период стойкости $T=60$ мин



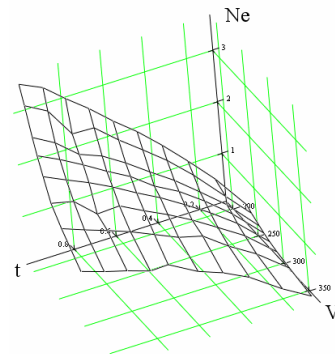
а



б

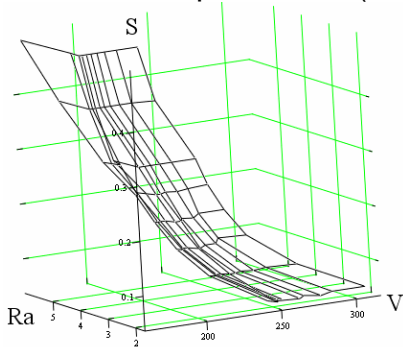


в

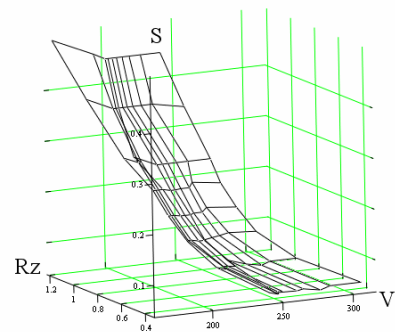


г

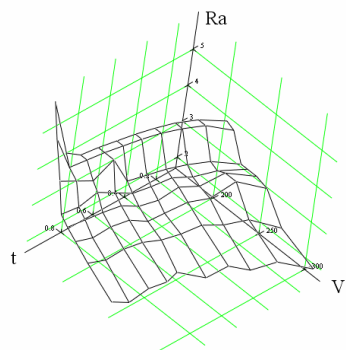
Рисунок 7 – Зависимости силы резания P_z (а, б) и потребляемой мощности N_e (в, г) от подачи S и скорости резания V (а, б) и от глубины резания t и скорости резания S (в, г), период стойкости $T=60$ мин



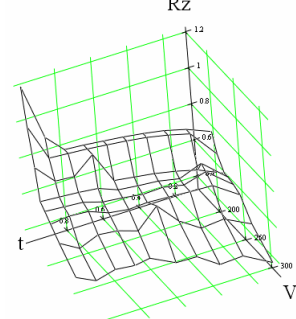
а



б

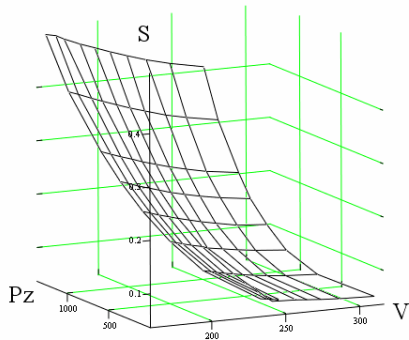


в

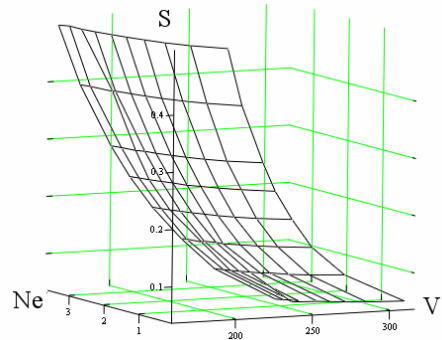


г

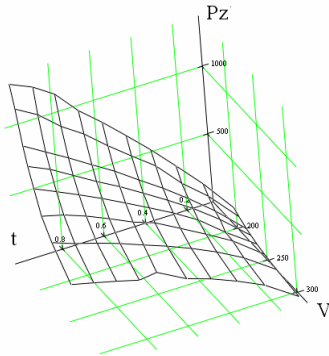
Рисунок 8 – Зависимости шероховатости R_a (а, б) и R_z (в, г) от подачи S и скорости резания V (а, б) и от глубины резания t и скорости резания S (в, г), период стойкости $T=30$ мин без покрытия



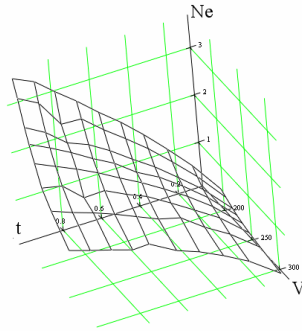
а



б

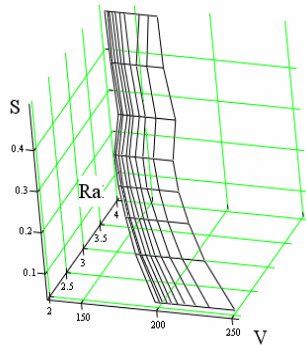


в

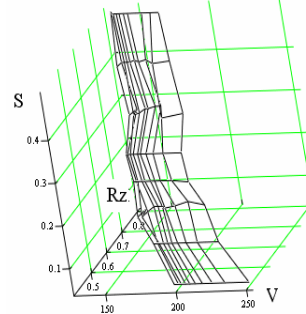


г

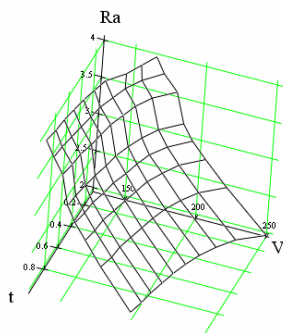
Рисунок 9 – Зависимости силы резания P_z (а, б) и потребляемой мощности N_e (в, г) от подачи S и скорости резания V (а, б) и от глубины резания t и скорости резания S (в, г), период стойкости $T=30$ мин без покрытия



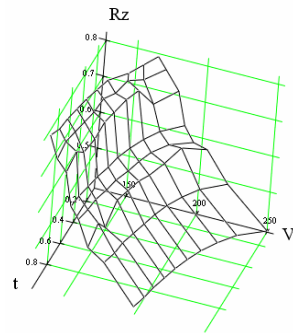
а



б



в



г

Рисунок 10 – Зависимости шероховатости R_a (а, б) и R_z (в, г) от подачи S и скорости резания V (а, б) и от глубины резания t и скорости резания S (в, г), период стойкости $T=60$ мин без покрытия

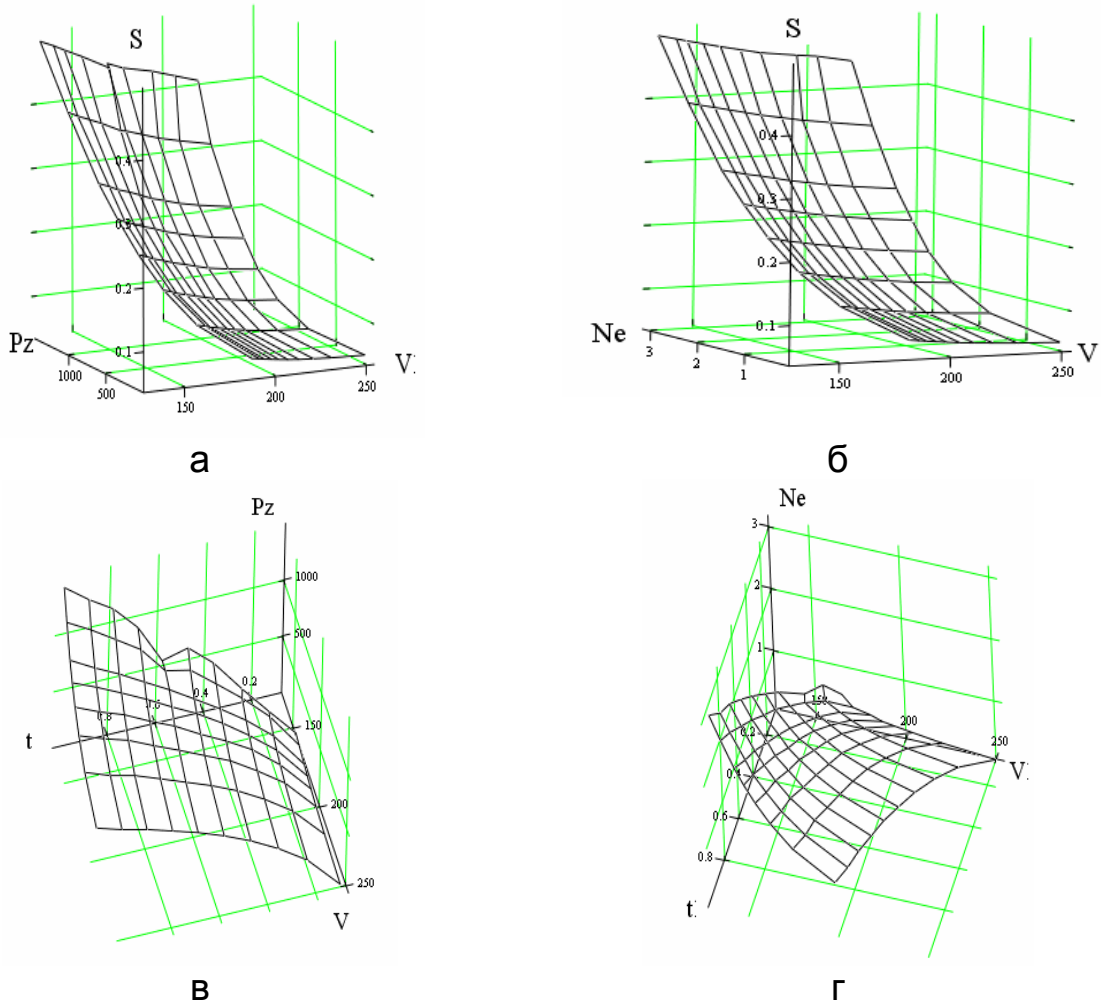


Рисунок 11 – Зависимости силы резания P_z (а, б) и потребляемой мощности Ne (в, г) от подачи S и скорости резания V (а, б) и от глубины резания t и скорости резания S (в, г), период стойкости $T=60$ мин без покрытия

Выводы

1. Получены зависимости для шероховатости R_a и R_z в зависимости от подачи и скорости резания.
2. Определены режимы резания с максимальной шероховатостью.
3. Показано, что увеличение скорости резания приводит к снижению шероховатости для РИ с покрытием, эта зона смещается в сторону больших скоростей резания.
4. Увеличение продольной подачи приводит сначала к росту R_z , а затем при $S = 0,5$ мм/об – к снижению.
5. Представлены зависимости шероховатости от времени и скорости износа и скорости резания, что позволяет прогнозировать износ в зависимости от выбранного критерия износа.
6. Зависимость шероховатости от времени обработки говорит о влиянии износа РИ на шероховатость.

7. Показана возможность прогнозирования стойкости РИ при точении жаропрочной стали 30X14A и критическом износе по задней поверхности.

8. Зная требуемую шероховатость можно выбрать режимы резания, обеспечивающие ее, а также получить шероховатость по назначаемым режимам резания.

9. Можно оценить снимаемый объем за период стойкости по критерию – требуемая шероховатость, что дает возможность обеспечивать эффективные режимы обработки.

Список использованных источников

1. Костюк Г.И. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: моногр. / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 1. – 587 с.

2. Костюк Г.И. Физико-технические основы напыления покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированной технологии. Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: моногр. / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 2. – 441 с.

3. Мацевитый В.М. Покрытия для режущих инструментов / В.М. Мацевитый. – Х.: ХГУ, 1987. – 128 с.

4. Костюк Г.И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем: справ. / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2003. – 414 с.

5. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака, И.П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 190 с.

6. Костюк Г.И. Физико-технические основы роботизированного производства / Г.И. Костюк. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 2006. – 614 с.

7. Kostyuk G.I. The effective cutting tools having the coating and hardened layers: monograph-reference book / G.I. Kostyuk. – Kharkov: "KHAI", 2007. – 633 p.