

## К ВОПРОСУ О РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЯХ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОСЛЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Современный этап развития машиностроения характеризуется значительным ростом объема и номенклатуры изделий, в различных отраслях промышленности, которые содержат сложнолегированные стали, их можно отнести к труднообрабатываемым, поскольку их механическая обработка характеризуется низким качеством получаемых поверхностей, повышенным износом инструмента.

Поэтому вопрос изучения процессов формирования шероховатости, а также управления влияющих на нее факторов, является актуальным.

Проведенный анализ публикаций показал, что в справочной литературе практически отсутствуют рекомендации по расчёту шероховатости для полустовой и чистовой токарной обработки сложнолегированных сталей. На шероховатость поверхности оказывают существенное влияние следующие факторы: геометрия рабочей части резца, подача, скорость и глубина резания; смещение резца относительно обрабатываемой поверхности; упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с рабочим инструментом; шероховатость рабочей части инструмента; отрывы частиц обрабатываемого материала. Следует отметить, что в зависимости от условий обработки степень влияния каждого из этих факторов на образование шероховатости поверхности будет различной. Первые четыре фактора вызывают образование систематической составляющей профиля шероховатости, которая может быть описана математически. Пятый фактор - образование случайной составляющей профиля и определяет разброс или дисперсию параметров шероховатости.

Следует отметить тот факт, что для одних и тех же марок сталей у разных авторов приведены разные сведения о степени влияния перечисленных факторов на величину микронеровностей образовавшегося профиля.

На основе обобщения приведенных результатов следует, что на данный момент существующие математические зависимости высоты микронеровностей обработанной поверхности и их поправочные коэффициенты и показатели степени пригодны только для конкретных сочетаний обрабатываемых и инструментальных материалов и условий резания, т.е. для которых они были получены.

**Ключевые слова:** шероховатость, токарная обработка, режимы обработки, сложнолегированные стали.

V.V. STRELBITSKIY

Odessa national polytechnic university, Odessa

## ON THE QUESTION OF THE DESIGN MODELS OF THE SURFACE OF THE SURFACE AFTER THE TURNING OF THE DEPOSITED STEEL

The current stage in the development of mechanical engineering is characterized by a significant increase in the volume and range of products in various industries that contain complex alloyed steels, they can be classified as hard-to-process, since their machining is characterized by poor quality of the surfaces obtained, and increased tool wear.

Therefore, the issue of studying the processes of formation of roughness, as well as managing the factors affecting it, is topical.

The carried out analysis of publications has shown that in the reference literature there are practically no recommendations for calculation of roughness for semi-finished and fine turning of complex steels.

Analysis of the results of studies showed that the roughness of the surface is significantly influenced by the following factors: the geometry of the working part of the cutter, feed, speed and depth of cutting; displacement of the tool relative to the machined surface; elastic and plastic deformations of the workpiece material to be machined in contact with the working tool; roughness of the working part of the tool; Separation of particles of the processed material. It should be noted that, depending on the processing conditions, the degree of influence of each of these factors on the formation of surface roughness will be different. The first four factors cause the formation of a systematic component of the roughness profile, which can be described mathematically. The fifth factor is the formation of a random component of the profile and determines the spread or dispersion of the parameters of the roughness.

It should be noted that for the same grades of steel, different authors give different information on the degree of influence of these factors on the microroughness of the profile formed. On the basis of generalization of the resulted results it follows that at the moment the existing mathematical dependencies of the height of the microroughnesses of the treated surface and their correction coefficients and exponents are suitable only for specific combinations of processed and tool materials and cutting conditions, i.e. for which they were obtained.

**Keywords:** roughness, turning, machining modes, hard alloy steels.

### Постановка проблемы

Современный этап развития машиностроения характеризуется значительным ростом объема и номенклатуры изделий, в различных отраслях промышленности, которые содержат сложнолегированные стали [1-20], их можно отнести к труднообрабатываемым, поскольку их механическая обработка характеризуется низким качеством получаемых поверхностей, повышенным износом инструмента [1-20].

Поэтому вопрос изучения процессов формирования шероховатости, а также управления влияющих на нее факторов, является актуальным.

### Анализ последних публикаций

Шероховатость является одной из основных характеристик качества поверхности, а ее величина

для получистового и чистового точения является основным ограничением при выборе режимов обработки.

Токарная обработка является одним из самых распространенных методов формообразования поверхностей деталей, как на предварительных, так и на окончательных операциях их изготовления.

При лезвийной обработке часто возникают расхождения между расчётными и экспериментальными значениями шероховатости в сторону увеличения или уменьшения. В первом случае - качество обработанной поверхности выходит за допуски по классу шероховатости, во втором - возникает необходимость в уменьшении подачи. Причиной указанного явления является несоответствие принятых математических моделей обработки реальным условиям резания.

Проведенный анализ публикаций [1-19] показал, что в справочной литературе практически отсутствуют рекомендации по расчёту шероховатости для получистовой и чистовой токарной обработки сложнолегированных сталей.

Целью данной статьи является установление влияния режимов обработки на качество поверхностей деталей из сложнолегированных сталей.

Анализ представленных в работах [1- 9] данных показал, что:

1) шероховатость поверхности существенно зависит от геометрии процесса резания; характера протекания пластической и упругой деформаций обрабатываемого материала; вибраций режущего инструмента в процессе обработки;

2) существующие на сегодня методики прогнозирования шероховатости позволяют решать ограниченный круг технологических задач, исследовать отдельные аспекты влияния параметров процесса резания на формируемую шероховатость.

В работе [10] предложена модель наибольшей высоты микронеровностей, в которой учтены только подача и скорость резания при точении хромистой коррозионностойкой стали. Это вызвало трудности при ее использовании в практике, поскольку не учтены другие факторы.

Зависимость максимальной шероховатости при точении стали от геометрии и значения подачи резца, предложенная в работе [11], также имела ограниченное применение. В связи с тем, что в ней не учтено влияние скорости резания, смазочно-охлаждающей жидкости, физико-механических и теплофизических свойств обрабатываемого и инструментального материалов и др.

Предложенная в работе [10] расчетная модель по определению высоты микронеровностей при точении широкого круга марок сталей, позволила учесть значительное количество влияющих факторов. Однако, ее использование представляет определенные сложности при измерении температуры в зоне резания для материалов каждой пары заготовка-инструмент, а также трудоемкость при вычислении постоянных в формуле.

Анализ результатов исследований [8] показал, что на шероховатость поверхности оказывают существенное влияние следующие факторы:

- 1) геометрия рабочей части резца, подача, скорость и глубина резания;
- 2) смещение резца относительно обрабатываемой поверхности;
- 3) упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с рабочим инструментом;
- 4) шероховатость рабочей части инструмента;
- 5) отрывы частиц обрабатываемого материала.

Следует отметить, что в зависимости от условий обработки степень влияния каждого из этих факторов на образование шероховатости поверхности будет различной. Первые четыре фактора вызывают образование систематической составляющей профиля шероховатости, которая может быть описана математически. Пятый фактор - образование случайной составляющей профиля и определяет разброс или дисперсию параметров шероховатости. Технологическое обеспечение шероховатости поверхности базируется в основном на экспериментальном изучении зависимостей между методом окончательной обработки и параметрами шероховатости.

Математическая модель формирования шероховатости поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием сложнолегированных сталей впервые рассмотрена в работах [13,14], для учета последнего - в нее введена теплопроводность твердого сплава. Следует отметить, что экспериментальная проверка модели для других сталей не производилась.

Предложенная в [15] зависимость шероховатости в виде высоты неровности, определяемая геометрическим построением, а ее приращение - из эмпирической формулы как деформационная составляющая параметра  $R_z$  позволила учесть свойства обрабатываемого материала, но не учла сочетание свойств контактной пары инструмент-заготовка.

Составляющая параметра шероховатости  $R_z$  подробно рассмотрена в работе Демкина Н.Б. [13], которая также имеет определенные трудности в практическом применении, поскольку не учитывает воздействие различных условий механической обработки.

Расчетная зависимость допустимой подачи от требуемой шероховатости поверхности деталей из материалов различных сталей была предложена В. Ф. Безъязычным в работе [17]. Характерной особенностью указанной модели является то, что обратным пересчетом можно определить значение допустимой подачи, задавшись требуемым значением показателя шероховатости, однако для обеспечения точности расчета по данной зависимости необходимо каждый раз для конкретных условий обработки экспериментально устанавливать степенные коэффициенты и измерять твердость обрабатываемого материала.

Из представленных в работах [1-11], [13-21] результатов следует, что наиболее существенное

влияние на формирование шероховатости поверхности оказывает глубина и скорость резания, подача, геометрия режущего инструмента. Следует отметить тот факт, что для одних и тех же марок сталей у разных авторов приведены разные сведения о степени влияния перечисленных факторов на величину микронеровностей образовавшегося профиля.

Из чего следует вывод, что на сегодняшний день отсутствует единая формула по определению шероховатости поверхности для широкого круга сложнолегированных сталей.

На основе обобщения приведенных результатов следует, что на данный момент существующие математические зависимости высоты микронеровностей обработанной поверхности и их поправочные коэффициенты и показатели степени пригодны только для конкретных сочетаний обрабатываемых и инструментальных материалов и условий резания, т.е. для которых они были получены.

### Выводы

Шероховатость поверхности существенно зависит от геометрии процесса резания; характера протекания пластической и упругой деформаций обрабатываемого материала; вибраций режущего инструмента в процессе обработки. Существующие на сегодня методики прогнозирования шероховатости позволяют решать ограниченный круг технологических задач, исследовать отдельные аспекты влияния параметров процесса резания на формируемую шероховатость.

Проведенный анализ публикаций показал, что в справочной литературе практически отсутствуют рекомендации по расчёту шероховатости для полустойкой и чистовой токарной обработки сложнолегированных сталей.

Анализ результатов исследований показал, что на шероховатость поверхности оказывают существенное влияние следующие факторы: *геометрия рабочей части резца*, подача, скорость и глубина резания; *смещение резца относительно обрабатываемой поверхности*; *упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с рабочим инструментом*; *шероховатость рабочей части инструмента*; *отрывы частиц обрабатываемого материала*.

Следует отметить тот факт, что для одних и тех же марок сталей у разных авторов приведены разные сведения о степени влияния перечисленных факторов на величину микронеровностей образовавшегося профиля.

На основе обобщения приведенных результатов следует, что на данный момент существующие математические зависимости высоты микронеровностей обработанной поверхности и их поправочные коэффициенты и показатели степени пригодны только для конкретных сочетаний обрабатываемых и инструментальных материалов и условий резания, т.е. для которых они были получены.

### Литература

1. Бржозовский Б.М., Плотников А.Л. Обеспечение надежности выбора режимов лезвийной обработки для автоматизированного станочного оборудования. Саратов.: изд-во Сарат. ун-та, 2001. – 88 с..
2. Проблемы управления качеством обработки и моделирование процесса формирования шероховатости поверхности при точении / Зайцева Н.Г., Ингеманссон А.Р., Крайнев Д.В., Сергеев А.С. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012.-№13 (100).-С. 15-18.
3. Валетов, В.А. Проблемы оптимизации микрогеометрии поверхностей деталей для обеспечения их конкретных функциональных свойств / Валетов В.А. // Известия высших учебных заведений. Серия «Приборостроение». - С-П., 2015. - № 4 – С.250-266.
4. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: справочник /Я. Л. Гуревич, М. В. Горохов, И. Захаров и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
5. Резников, А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н.Резников.- М.: Машиностроение, 1981. - 271с.
6. Горленко, О.А. Управление качеством в производственнотехнологических системах: учебник / О.А. Горленко, В.В. Мирошников, Н.М. Борбаць. – Брянск: БГТУ, 2009. – 312 с.
7. Проблемы управления качеством обработки и моделирование процесса формирования шероховатости поверхности при точении / Зайцева Н.Г., Ингеманссон А.Р., Крайнев Д.В., Сергеев А.С. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 13 (100). - С. 15-18.
8. Суслов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
9. Сулима, А. М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин: учебник / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
10. Шифрин, А. Ш. Обработка резанием коррозионно-стойких, жаропрочных и титановых сталей и сплавов/ А. Ш. Шифрин, Л. М. Резницкий. – М.-Л.: Машиностроение, 1964. – 448 с.
11. Макаров, А. Д. Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
12. Кирюшин, И. Е. Обеспечение качества поверхностного слоя деталей при высокоскоростном торцевом фрезеровании закаленных сталей: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / И. Е. Кирюшин. – Саратов, 2007. – 205 с.
13. Математическая модель формирования шероховатости обработанной поверхности при точении

с опережающим пластическим деформированием коррозионно-стойких сталей / А. Р. Ингеманссон, Н. Г. Зайцева, Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев // *Металлообработка*. – 2012. – № 1. – С. 11-15.

14. Ингеманссон А. Р. Повышение эффективности точения труднообрабатываемых сталей ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов с использованием опережающего пластического деформирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / А. Р. Ингеманссон. – Волгоград, 2012. – 209 с.

15. Родыгина, А. Е. Формирование деформационной составляющей микронеровностей, образующихся при несвободном резании: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / А. Е. Родыгина. – Иркутск, 2009. – 17 с.

16. Демкин, Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.

17. Безъязычный, В. Ф. Расчет режимов резания: учеб. пособие / В. Ф. Безъязычный, И. Н. Аверьянов, А. В. Кордюков. – Рыбинск: РГТА, 2009. – 185 с.

18. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.2 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова, – М.: Машиностроение – 1, 2003, – 912 с..

19. Jing Ying Zhang. Process Optimization of Finish Turning of Hardened Steels / Ying Zhang Jing, Y. Liang Steven // *Materials and Manufacturing Processes* / – 2007. – № 22. – P.107-113. .

20. Завгородний В. И. Повышение производительности точения деталей из труднообрабатываемых сплавов путем управления процессом резания по параметру шероховатости обработанной поверхности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / В. И. Завгородний. – Москва, 2010. – 16 с..

21. Стрельбицкий, В. В. Определение влияния усилий деформирования на шероховатость поверхности вала при накатывании роликом / В. В. Стрельбицкий, Я. Е. Сурков // *Вимірюв. та обчислюв. техніка в технол. процесах : матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 8-13 черв. 2017 р.* – Одеса, 2017. - С. 51-52.

#### References

1. Brzhozovskij B.M., Plotnikov A.L. Obespechenie nadezhnosti vybora rezhimov lezvinoj obrabotki dlja avtomatizirovannogo stanochnoho oborudovaniya. Saratov.: izd-vo Sarat. un-ta, 2001. – 88 s..

2. Problemy upravleniya kachestvom obrabotki i modelirovanie processa formirovaniya sheroховatosti poverhnosti pri tochenii / Zajceva N.G., Ingemansson A.R., Krajnev D.V., Sergeev A.C. // *Izv. VolGTU. Seriya "Progressivnye tehnologii v mashinostroenii"*. Vyp. 8 : mezhvuz. sb. nauch. st. / VolGTU. - Volgograd, 2012.-№13 (100).-S. 15-18.

3. Valetov, V.A. Problemy optimizacii mikrogeometrii poverhnostej detalej dlja obespecheniya ih konkretnyh funkcional'nyh svojstv / Valetov V.A. // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya «PriBOROSTROENIE»*. - S-P., 2015. - № 4 – S.250-266.

4. Rezhimy rezaniya trudnoobrabatyvaemykh materialov: spravochnik /Ja. L. Gurevich, M. V. Gorohov, I. Zaharov i dr. – М.: Mashinostroenie, 1986. – 240 s.

5. Reznikov, A.N. Teplofizika processov mehanicheskoy obrabotki materialov / A.N.Reznikov.- М.: Mashinostroenie, 1981. - 271s.

6. Gorlenko, O.A. Upravlenie kachestvom v proizvodstvennotekhnologicheskikh sistemah: uchebnik / O.A. Gorlenko, V.V. Miroshnikov, N.M. Borbac'. – Brjansk: BGUTU, 2009. – 312 s.

7. Problemy upravleniya kachestvom obrabotki i modelirovanie processa formirovaniya sheroховatosti poverhnosti pri tochenii / Zajceva N.G., Ingemansson A.R., Krajnev D.V., Sergeev A.S. // *Izv. VolGTU. Seriya "Progressivnye tehnologii v mashinostroenii"*. Vyp. 8 : mezhvuz. sb. nauch. st. / VolGTU. - Volgograd, 2012. - № 13 (100). - С. 15-18.

8. Suslov, A. G. Kachestvo poverhnostnogo sloja detalej mashin / A. G. Suslov. – М.: Mashinostroenie, 2000. – 320 s.

9. Sulima, A. M. Poverhnostnyj sloj i jekspluatacionnye svojstva detalej mashin: uchebnik / A. M. Sulima, V. A. Shulov, Ju. D. Jagodkin. – М.: Mashinostroenie, 1988. – 240 s.

10. Shifrin, A. Sh. Obrabotka rezaniem korrozionno-stojkih, zharoprochnyh i titanovyh stalej i splavov/ A. Sh. Shifrin, L. M. Reznickij. – М.-Л.: Mashinostroenie, 1964. – 448 s.

11. Makarov, A. D. Optimizacija processov rezaniya / A. D. Makarov. – М.: Mashinostroenie, 1976. – 278 s.

12. Kirjushin, I. E. Obespechenie kachestva poverhnostnogo sloja detalej pri vysokoskorostnom torcevom frezerovanii zakalennyh stalej: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.03.01 / I. E. Kirjushin. – Saratov, 2007. – 205 s.

13. Matematicheskaja model' formirovaniya sheroховatosti obrabotannoj poverhnosti pri tochenii s operezhajushhim plasticheskim deformirovaniem korrozionno-stojkih stalej / A. R. Ingemansson, N. G. Zajceva, Ju. L. Chigirinskij, D. V. Krajnev // *MetallООbrabotka*. – 2012. – № 1. – С. 11-15.

14. Ingemansson A. R. Povyshenie jeffektivnosti tocheniya trudnoobrabatyvaemyh stalej ferritnogo, martensitno-ferritnogo i martensitnogo klassov s ispol'zovaniem operezhajushhego plasticheskogo deformirovaniya: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.02.07 / A. R. Ingemansson. – Volgograd, 2012. – 209 s.

15. Rodygina, A. E. Formirovanie deformacionnoj sostavljajushhej mikronеровnostej, obrazujushhihsja pri nesvobodnom rezanii: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.03.01 / A. E. Rodygina. – Irkutsk, 2009. – 17 s.

16. Demkin, N. B. Kachestvo poverhnosti i kontakt detalej mashin / N. B. Demkin, Je. V. Ryzhov – М.: Mashinostroenie, 1981. – 244 s.

17. Bezъязычный, V. F. Raschet rezhimov rezaniya: ucheb. posobie / V. F. Bezъязычный, I. N. Aver'janov, A. V. Kordjukov. – Rybinsk: RGATA, 2009. – 185 s.

18. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja. V 2 t. T.2 / pod red. A. M. Dal'skogo, A.G. Kosilovoj, R. K. Meshherjakova, A. G. Suslova, – М.: Mashinostroenie – 1, 2003, - 912 s..

19. Jing Ying Zhang. Process Optimization of Finish Turning of Hardened Steels / Ying Zhang Jing, Y. Liang Steven // *Materials and Manufacturing Processes* / – 2007. – № 22. – P.107-113. .

20. Zavgordnij V. I. Povyshenie proizvoditel'nosti tocheniya detalej iz trudnoobrabatyvaemyh splavov putem upravleniya processom rezaniya po parametru sheroховatosti obrabotannoj poverhnosti: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.02.07 / V. I. Zavgordnij. – Moskva, 2010. – 16 s..

21. Strel'bickij, V. V. Opredelenie vlijaniya usilij deformirovaniya na sheroховatost' poverhnosti vala pri nakatvanii rolikom / V. V. Strel'bickij, Ja. E. Surkov // *Vimіrjuv. ta obчислюв. tehnika v технол. процесах : матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 8-13 черв. 2017 р.* – Одеса, 2017. - С. 51-52.

Рецензія/Peer review : 20.07.2017 р.

Надрукована/Printed :28.10.2017 р.

Стаття рецензована редакційною колегією