

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ПРЕЦЕССИОННЫХ ПЕРЕДАЧ

In this paper we presented experimental studies of the surface layer of the teeth of gears precessional transmission depending on the method and conditions of grinding. Also investigated were hardness, micro hardness, surface roughness, as well as metallographic studies were carried out.

Ключевые слова: прецессионная передача, шлифование, шероховатость, точность.

В данной работе представлены экспериментальные исследования поверхностного слоя зубьев зубчатых колес прецессионной передачи в зависимости от способа и условий шлифования. Также были исследованы твердость, микротвердость, шероховатость поверхности, а также проведены металлографические исследования.

Keywords: precessional transmission, grinding, roughness, precision.

Исследования проводились с применением зубофрезерного станка 53А30П переоборудованного под шлифование зубьев, при помощи специального приспособления и дополнительным приводом для шлифовального круга. Техническая характеристика этого станка следующая: ширина шлифовального зуба зубчатого колеса $s = 20 - 80$ мм, число двойных ходов $n_s = 50 - 250$ мин⁻¹, величина окружной подачи $p_0 = 80 - 450$ мм/мин. Исследования характеристик точности станка проводились согласно ГОСТ 659-89. Эти исследования подтвердили III класс точности, что позволило реализовать проводимые исследования. Регулировку зазоров можно проводить при помощи червяков, которые входят в зацепление с червячными колесами. После выполнения оборота делительными дисками происходит их блокирование и выключение муфты, затем шлифование поверхности зубьев зубчатых колес.

Кроме того, шлифовальный станок был оснащен автоматическим устройством для правки шлифовального круга с трехсторонним расположением правильных инструментов: один торцевой и два боковых, что позволило править и выравнивать поверхности шлифовального круга после каждого оборота вокруг шлифованного зубчатого колеса.

В качестве инструмента применялся шлифовальный круг типа Т1Q с размерами: наружный диаметр $D = 80$ мм; ширина шлифовального круга $H = 10$ мм; радиус при вершине $r = 4$ мм; абразивное зерно 99А; величина зерна 60-80; твердость Н, I, J, K, L, M; структура 5, 7, 8, 25; связывающее вещество V [1].

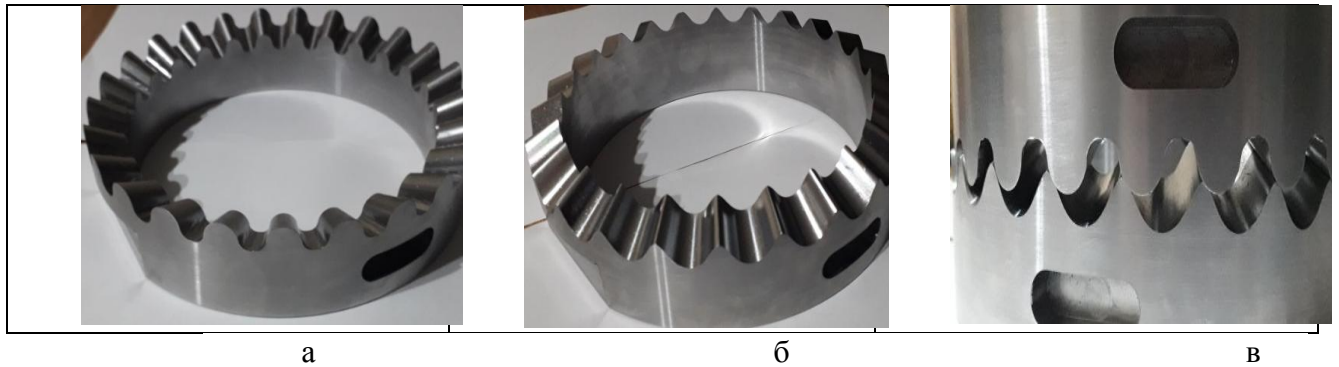


Рис.1. а) зубчатое колесо сателлита, б) центральное зубчатое колесо, в) колеса в зацеплении

Твердость шлифовального круга исследовалась по методу Grindo-Sonic. Динамическая балансировка проводилась на станке типа K300BR Rava Torino. Определение величины дисбаланса осуществлялось на электронном приборе с компенсацией остаточного момента. Точность балансировки шлифовального круга была в границах биения 1,0 мкм (величина отклонения инерционной оси от оси вращения круга в плоскости коррекции). Скорость при балансировке составляла 1000 об/мин. Шлифовальный круг правился и уравнивался после каждого оборота вокруг обрабатываемого колеса под радиус 4 мм, а глубина его заточки (правки) составляла 0,01 мм при скорости 0,06 мм/мин.

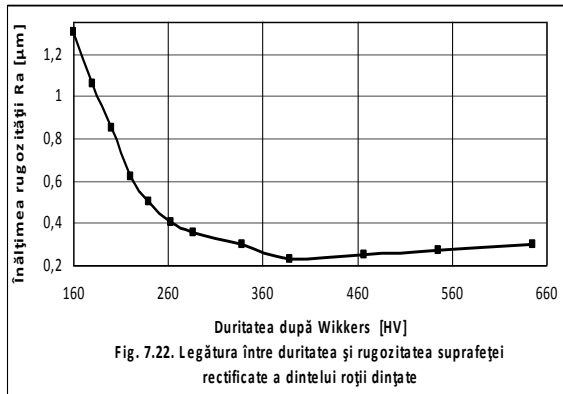
Шлифовались прецессионные зубчатые колеса с нестандартным профилем зубьев (рис. 1), модуля $m = 2 - 6$ мм, шириной венца $b = 15 - 30$ мм, с количеством зубьев $z = 17 - 38$, изготовленные из стали 40X, 45X, 12X2H4A, 20X2H4A с твердостью 30 - 60 HRC [2]. Глубина шлифования зуба зубчатых колёс составляла 0,03-0,12 мм, а припуск на 1 сторону зуба колебался в пределах 0,05-0,4 мм.

В качестве охлаждающей жидкости использовалось эмульгированное масло ER с процентным соотношением 1:40, которое подавалась в зону шлифования со скоростью 15 дм³/мин с допустимой величиной загрязнения до 40 мкм в 1л.

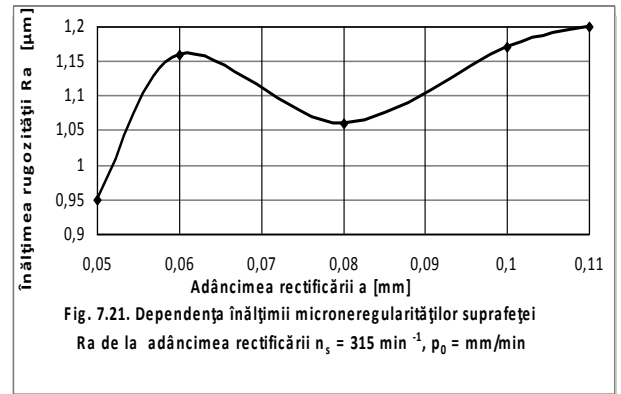
Остаточные напряжения, залегающие в поверхностном слое зубьев зубчатых колес, исследовались на головке зуба, в средней части и ножке зуба с использованием рентгеновского метода [3]. Поверхность подвергалась травлению электрохимическим способом (65% раствор H₃PO₄ с плотностью электролита 8-8,2 А), с последующим измерением и расчетом напряжений [2, 3], где авторы представил ранее в своих публикациях по исследованию способа Найлса. В проводимых исследованиях остаточных напряжений использован рентгеновский метод $\sin^2(\rho)$, на дифрактометрах TUR M61 и Филипса. Применялся генератор PW ИЗО, гониометр PW 1050 фирмы AJVIR. гониометр HZG3 а также аналоговый и цифровой регистраторы.

Исследовались также твердость, микротвёрдость, шероховатость поверхности, а также проводились металлографические исследования. В процессе проводимых исследований состояния поверхностного слоя использовались следующие измерительные приборы: универсальное приспособление для измерения зубчатых колес фирмы Карл Цейс- Йена с датчиком ортотест и ценой деления 0,001 мм с пределом измерения $\pm 0,100$ мм; эвольвентомер универсальный VG 450 колес фирмы Карл Цейс- Йена с пределом измерения 0-65 мкм и ценой деления 0,001мкм; измерительные валики типа MLCbA а также микрометр часового типа Мтсс с ценой деления 0,002мм; профилометр фирмы Taylor Hobson, снабженный преобразователем типа T2, и измерительным преобразователем типа TZ; твердомеры типа Роквелл фирмы Kabid-Press и типа PRL-510; металлографический микроскоп Neophot-2 фирмы Карл Цейс- Йена с устройством для измерения микро твёрдости типа Nanemann; микро твердомер ПМТ-3 и сканирующий микроскоп IDOL.

Формирование шероховатости поверхностного слоя зубьев зубчатых колес.



Твердость поверхности, НВ
Рис. 2. Связь между твердостью и шероховатостью зацепления



Глубина шлифования a [mm]
Рис. 3. Зависимость шероховатости Ra от глубины шлифования $n_s = 315 \text{ min}^{-1}$, $p_0 = 300 \text{ mm/min}$

Многие исследователи [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17] считают, что высота неровностей поверхности зубьев зубчатых колес колеблется в пределах 2,5 - 0,16 μm. Шероховатость имеет важное значение для состояния поверхностного слоя [4, 8, 17], поэтому были проведены исследования высоты микронеровностей поверхности зубьев зубчатых колес. Результаты исследований представлены на рис. 2, и рис. 3.

Прежде всего следует отметить зависимость высоты неровностей от числа двойных ходов шлифовального круга, которая имеет циклический амплитудный характер с максимумом при 150 и 250 min^{-1} и минимальное значение при 150 min^{-1} двойных ходов шлифовального круга. Таким образом для достижения минимальной шероховатости поверхности зуба необходимо осуществлять процесс шлифования при 150 min^{-1} .

Подобное явление наблюдалось при оценке зависимости шероховатости поверхности зуба от величины подачи стола. При этом циклический характер изменения шероховатости развивался иначе, но тоже имел свой минимум и максимум. Минимальное значение высоты неровностей наблюдалось при подаче стола 200 мм/мин, а максимальное - при величине подачи стола 400 мм/мин. Следует заметить, что оптимальное значение подачи для благоприятной шероховатости не обязательно должно совпадать с таким же её значением с точки зрения формирования благоприятных (сжимающих) остаточных напряжений или других физико-химических свойств. Зависимость высоты неровностей поверхности Ra от величины подачи стола: $a=0,075 \text{ мм}$, $n_s=300 \text{ мин}$

Иное влияние оказывает на шероховатость поверхности зуба глубина шлифования. При глубине шлифования (0,05 мм) получается минимальная высота неровностей. Вместе с ростом глубины шлифования происходит рост высоты неровностей, затем они уменьшаются на глубине 0,08 мм, а при дальнейшем росте глубины шлифования снова растут. Аналогичную зависимость высоты неровностей от глубины шлифования можно отметить при оценке цикличности процесса изменения шероховатости, которая развивается иначе, чем на приведенных выше зависимостях. Зависимость высоты микронеровностей поверхности Ra от глубины шлифования; $n_s=300 \text{ мин}^{-1}$, $p_0=400 \text{ мм/мин}$

При оценке характера изменения шероховатости, связанной с глубиной шлифования, следует отметить минимальное её значение при глубине шлифования 0,05 мм, а наибольшую величину - при глубине шлифования 0,11 мм.

Оценивая влияние представленных параметров режима шлифования на высоту неровностей поверхности легко заметить, что предельные значения шероховатости имеют разные величины и по-разному развиваются. Поэтому, при необходимости получения минимальной высоты неровностей следует анализировать состояние поверхностного слоя после применения указанных параметров режима шлифования.

Кроме того, известно, что минимализация такого параметра как глубина шлифования способствует достижению минимальной высоты неровностей (рис. 4), однако такая обработка сопровождается большим выделением тепла, вызывающего изменения остаточных напряжений и структурные изменения в слое на глубинах 25 - 50 мкм, сопровождающегося изменением остаточного аустенита и твердости.

Связь между шероховатостью и твердостью поверхности шлифованного зуба (рис. 2) подтверждается логарифмической зависимостью, которая указывает на то, что с ростом твердости происходит ухудшение шероховатости поверхности.

Выводы

Известно, что минимализация таких параметров как глубина шлифования, величины круговой подачи стола, числа двойных ходов шлифовального круга способствует достижению минимальной высоты неровностей, однако такая обработка сопровождается большим выделением тепла, вызывающие изменения остаточных напряжений и структурные изменения в слое на глубинах до 50 мкм, сопровождающегося изменением остаточного аустенита и твердости, в каждом конкретном случае при выборе режимов резания надо подходить дифференцированно.

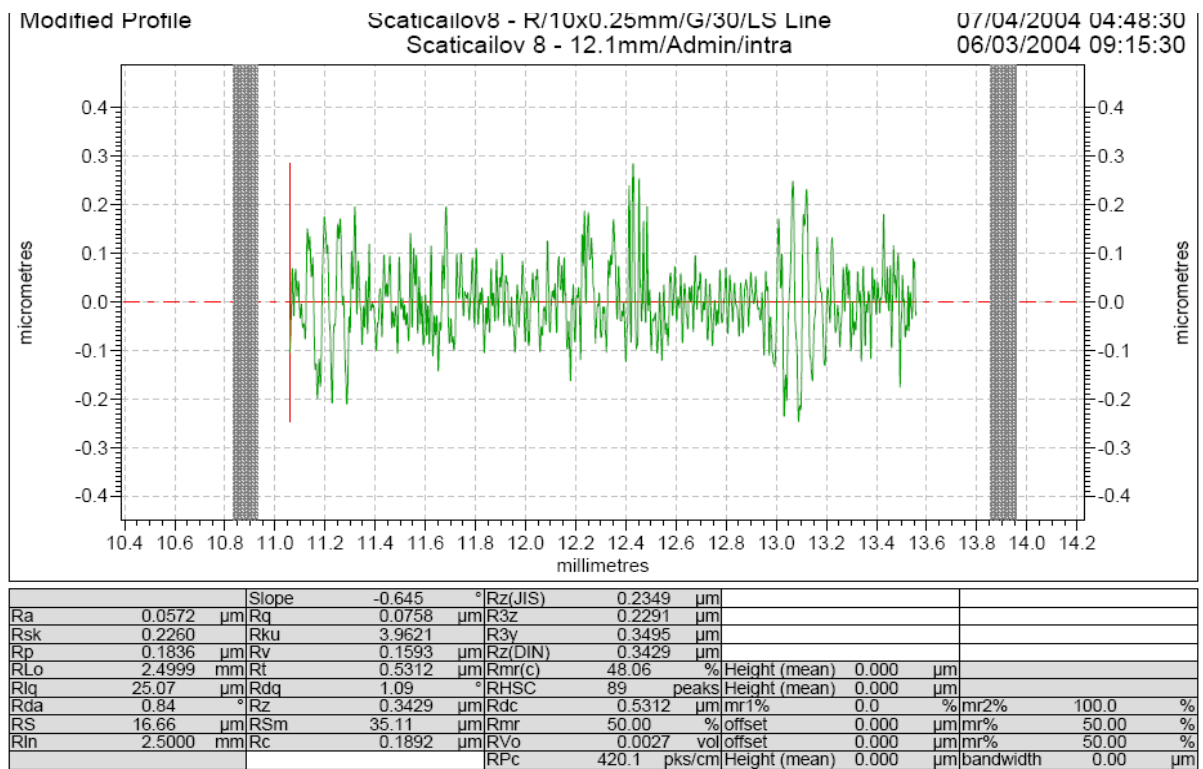


Рис. 4. Показания шероховатости зацепления, при $a=0,05$ mm, $n_s=150\text{min}^{-1}$, $p_o=200$ mm/min.

ИСТОЧНИКИ И ЛИТЕРАТУРА

1. Bostan I. Dulgheru V. Gluşco C. Mazuru S. and Vaculenco M. Antologia invenţiilor Vol 2 Transmisii planetare precesionale (Chişinău Bons Offices) 2011
2. Mazuru S. Scaticailov S. Tehnologii şi procedee de danturare a roţilor dinţate. Chişinău : Tehnica-UTM, 2018. 397 p.
3. Botnari V. Mazuru S. Influence of processing parameters on the quality of the superficial layer after processing surfaces with plastic deformation processes (Applied Mechanics and Materials Switzerland 657) 2014. PP. 147-153.
4. Mazuru S. Technological processes generating non-standard profiles of precessional gear. Auoreferatul tezei de doctor habilitat. 2019. DOI:10.13140/RG.2.2.19477.76005

Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації

5. Bostan I. Mazuru S. Influence of the grinding parameters on the characteristics of gears teeth outer layer Proceedings of The 13 th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation IASI & Chisinau 2009
6. Mazuru S. System reliability and optimization processing parametrs for its accuracy of elements, First part. The 14 the International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation Slănic Moldova Romania 2010
7. Mazuru S. Mechanism of training component kinematics error gears in operation tehnology hardening chemical – heat (Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Tomul LVI (LX) Fasc 2a) 2010
8. Bostan I. Mazuru S. and Botnari V. Cinetic process of teeth grinding (The 15 th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Innovation ModTech Vadul lui Voda Moldova România. 2011
9. Bostan I. Mazuru S. Vaculenco M. Method, standards and the equipment for energetic indexes research of the rectification process. Buletinul institutului politehnic. Iași, tomul XLVIII, Supliment I Iași 2002, pp 37 – 40
10. Bostan I. , Mazuru S. Aprecierea calității organelor de mașini la etapa de pregătire tehnologică a producției. Buletinul institutului politehnic Iași, tomul LIV, Fascicula Vc, Iași, , 2004, pp. 749–752
11. Laurențiu S. Coteață M. Pop N. Coelho A., Mazuru S. Impact phenomena at the abrasive jet machining. Nonconventional technologies Review No 1, 2009, pp 96-99
12. Botnari V., Mazuru S. Influence of Processing Parameters on the Quality of the Superficial Layer after Processing Surfaces with Plastic Deformation Processes. Applied Mechanics and Materials Vol 657, 2014, pp. 147-153
13. Slatineanu L., Dodun O., Coteata M., Mazuru S. Theoretical Model of the Surface Roughness at the End Milling with Circular Tips Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium Editor B. Katalinic, Vienna, Austria 2008, pp.1273-1274
14. Bostan I. Mazuru S., Botnari V. Cinetic process of teeth grinding. The 15th International Confecence Modern Tehnologies Quality and Innovation. ModTech, 25-27 May Vadul lui Voda 2011, pp. 121-124
15. Casian M. Mazuru S. Theoretical and experimental aspects concerning elastic behavior in the grinding technological system, Advanced Materials Research Vol 1036 pp 286-291
16. Casian M. Mazuru S. 2014 A study concerning the workpiece profile after grinding process of precessional gear wheels Advanced Materials Research Vol 1036, 2014, pp. 292-297.
17. Bostan I. Mazuru S. and Vaculenco M. Issues tehnolody manufacturing precessional gears with nonstandard profile generating (The IX International Congress Machines, Technologies, Materials 2012, Varna, Bulgaria. 2012 pp. 101-104.