

*Балицький О.І., д.т.н., проф.; Колесніков В.О., к.т.н., доц.;  
Гаврилюк М.Р., м.н.с.; Ріней І. В. к.т.н.; Гарда В.М., Нестеров А.О.*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТУ**

*В роботі наведені данні присвячені пошуку альтернатив застосуванню нафтопродуктів під час виготовлення змащувально-охолоджуючих рідин для полегшення обробки різанням сталей, які можуть бути використані при виготовленні автомобільних деталей*

Більшість деталей машин виготовляється шляхом обробки різанням. Заготовками таких деталей являється прокат, виливки, поковки, штампування та ін. Процес обробки деталей різанням заснований на утворенні нових поверхонь шляхом деформування і подальшого відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки. Залежно від характеру виконуваних робіт і виду ріжучого інструменту розрізняють наступні методи обробки металів різанням: точіння, фрезерування, свердління, зенкування, довбання, протягання, розгортання і ін.

Змащувально охолоджуючі рідини (ЗОР) призначені для змащення поверхонь тертя, охолодження ріжучого інструменту і оброблюваної заготовки, полегшення процесу деформування металу, своєчасне видалення із зони різання стружки та продуктів зносу інструменту, а також для тимчасового захисту виробів і обладнання від корозії. Завдяки цьому ЗОР значною мірою визначають економічність і надійність роботи, а саме: збільшують стійкість різального інструменту, поліпшують якість виробів, знижують силу різання і потрібну потужність.

В основному мінеральні нафтові оливи є основою рідин для металообробки в індустріальному секторі глобально. Нафтові оливи, маючи переваги, які відповідають вимогам індустрії, одночасно мають той недолік, що вони негативно впливають на працівників та оточуюче середовище в широкому діапазоні, включаючи отруйні аерозолі, нафтові випари та кіптяву, спричиняючи захворювання шкіри та органів дихання і при утилізації відходів забруднюють ґрунт та водойми. Це спонукало наукове співтовариство всього світу розвивати безпечні біодеградуючі рідини для обробки металів, що привело до використання рідких сільськогосподарських продуктів, а саме рослинних олій для трибологічних застосувань [1, 2].

Мета роботи – дослідити вплив екологічної ЗОР на основі поновлюваної соняшникової або ріпакової олій, які виробляють в Україні, і не містять нафтопродуктів, для механічної обробки сталей.

Застосування в ЗОР рослинних олій, що швидко розкладаються в природних умовах багатьма штаммами мікроорганізмів, взамін нафтових мінеральних масел дозволить зменшити забруднення оточуючого середовища.

Визначали ефективність зразків ЗОР для механічної обробки (точінні) нержавіючих сталей 38ХНЗМФА та 35ХНЗМФА, які можуть знайти використання для виготовлення відповідальних деталей в автомобільній галузі. Також паралельно для порівняння були проведені експерименти зі сталями 20 та 40, які також можуть знаходити широке застосування в автомобільній галузі.

Механічну обробку сталей проводили на сухо, при поливі водою, ЗОР (3-% водна рідина).

Вплив ЗОР на процес пластичного деформування металу здійснюється через його поверхню, шляхом фізичної або хімічної адсорбції. У зв'язку з цим нижче приведені результати дослідження по вивченню поверхні, обробленої точінням (рис. 1) з застосуванням ЗОР. Різець оснащений не переточеною твердосплавною пластиною ВК-6.

Таблиця 1 – Хімічний склад (масові %, Fe – решта) досліджуваної сталі

Марка сталі	Хімічні елементи							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Cu
38ХНЗМФА	0,34–	0,17–	0,25–	1,20–	3,00–	0,35–	0,10–	≤0,25
	0,42	0,37	0,55	1,50	3,40	0,45	0,20	

Так, при точінні середня швидкість деформування металу в зоні різання складає  $10^3$ – $10^5$  с<sup>-1</sup>, що на 5–7 порядків перевищує швидкість деформування при статичному розтягу або стискання і на порядок – при ударному навантаженні, а температура в зоні деформації досягає 0,2–0,6 температури плавлення металу [3].

Стійкість ріжучого інструменту являється одним з основних критеріїв при оцінці технологічних властивостей ЗОР. Показником зношування являються ширина фаски по задній поверхні та втрата маси інструменту. Контроль, попередній відбір і заточку інструмента проводили у відповідності до вимог ГОСТ 2034-84, ГОСТ 10902-77.

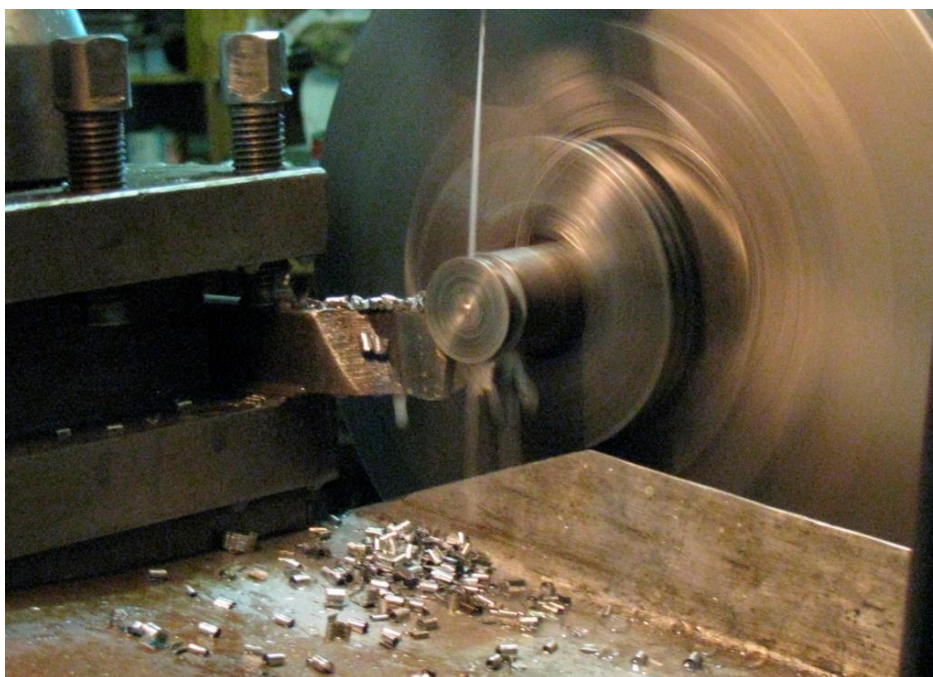


Рис. 1 – Подача ЗОР при точінні заготовки із сталі

Процес різання (стружкоутворення) є складним фізичним процесом, що супроводжується великим тепловиділенням, деформацією металу, зносом різального інструменту і наростуванням на різці. Знання закономірностей процесу різання та супроводжуючих його явищ дозволяє раціонально управляти цим процесом і виготовляти деталі більш якісно, продуктивно і економічно.

При обробці різанням перетворення зрізаного шару в стружку є однією з різновидів процесу пластичного деформування матеріалу. Зрізані стружки мають різний вигляд і форму які залежать від хімічного складу, структурного стану металу, режимів різання та ін. Основними факторами, що впливають на форму стружки, є глибина різання, подача, використувана ЗОР.

При роботі на оптимальних швидкостях різання на сухо стружка довга зливна. При застосуванні води або ЗОР вигляд стружки кардинально міняється. Вона лишається зливною але закручується в дрібні спіралі з елементами окрихчення. При підвищенні швидкості різання одиничні зсуви на стружці стають рідшими і несистемними.

Колір мінливості стружки змінюється в залежності не тільки від температури, але і від

тривалості дії тепла. При охолодженні стружки ЗОР кольори мінливості можуть зовсім зникнути, тим часом як стружка зберігає на поверхні контакту з різцем високу температуру [4].

Таблиця 2 – Кольори мінливості і відповідні їм температури

№	Кольори мінливості	Температура, °С
1.	Світло-жовтий	220
2.	Темно-жовтий	240
3.	Пурпуровий	270
4.	Темно-синій	290
5.	Синювато-сірий	350

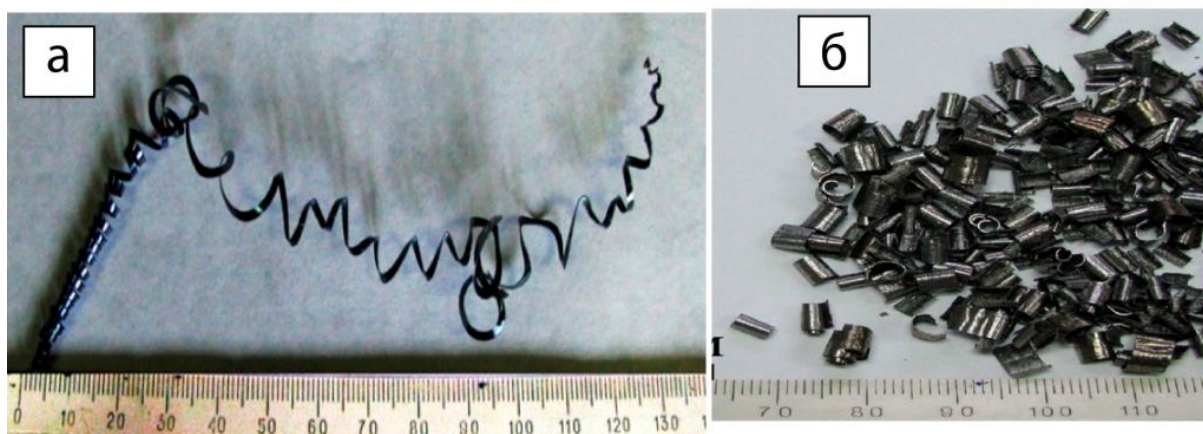


Рис. 2 – Вигляд стружки після механічної обробки зразка роторної сталі: (а) – на сухо; (б) – із ЗОР

Застосування води у якості охолоджуючої рідини та ЗОР призводило до зміни морфології стружки (рис. 2 – 4). По перше, стружка подрібнювалась, що безумовно свідчить про вплив водневого чинника на процеси руйнування. По друге, відбувалось уникнення кольорів мінливості. По третє, серед продуктів різання спостерігалась тенденція до появи переважної більшості таких, що мали бочкообразну форму (рис. 3).

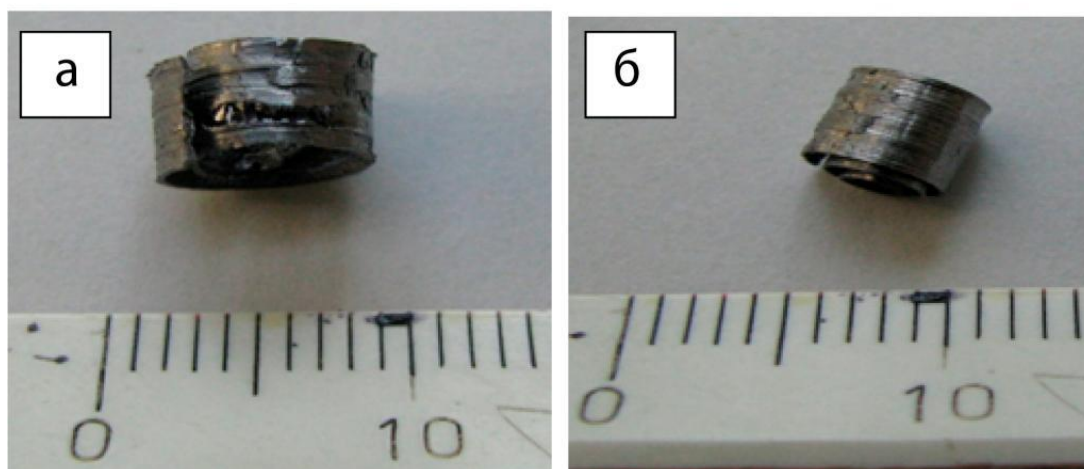


Рис.3 – Вигляд фрагментів стружки після точіння зразка сталі із ЗОР



Використання в якості ЗОР рідин на основі рослинних олій забезпечує інгібіторний захист обладнання, оброблюваних деталей. На рис.4 показано вигляд стружки через 24 години після точіння із застосуванням ЗОР (а) та води (б).

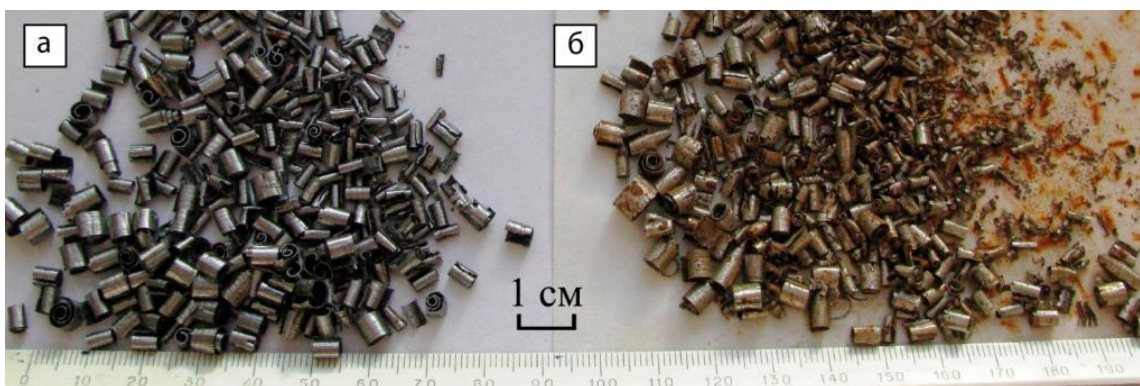


Рис.4 – Вигляд стружки, що утворилась під час механічної обробки: а – із ЗОР, б – з водою

До найбільш важливих показників якості поверхневих шарів оброблених поверхонь від різного роду інструменту і технологічного оснащення відносяться шорсткість поверхні та твердість обробленого металу.

Сформована в процесі різання поверхня, в напрямку подачі має закономірний геометричний рельєф. Випробування проводилися при постійній подачі, так як шорсткість поверхні практично лінійно зростає із збільшенням подачі. Режим різання:  $t = 3$  мм,  $S = 0,1$  мм/об,  $V = 1$  м/с; різець оснащений твердосплавною пластиною ВК6.

Дослідження твердості проводили за методом Роквела відповідно п. 2.10.2 шляхом вдавлення в зразок індентора у вигляді сталеві кульки діаметром 1,568 мм. На зразку проводили 3 вимірювання: 1 - біля краю круга, 2 - на середині радіуса круга та 3 - біля центру зразка по 5 раз (рис. 3). Значення отримували для зразків роторної сталі за шкалою С. Дані наведені в таблиці 3 за шкалою Роквела HRC.

Таблиця 3 – Твердість за методом Роквела

Місце вимірювання	Сухе різання	Вода	ЗОР
Біля краю круга	36	39	38
Середина радіуса круга	35	34	36
Біля центру	35	32	35

Як бачимо з таблиці 3 біля краю зразка відбувається (наклеп), зміцнення, а ближче до центру твердість падає. Особливо велика розбіжність між наклепанним шаром и не наклепанним спостерігалась на зразку який оброблювався з водою.



Рис. 5 – Зразки після точіння в: а – ЗОР, б – воді, в – на сухо

Шорсткість поверхні є однією з основних геометричних характеристик якості поверхні деталей і впливає на їх експлуатаційні показники. Шорсткість визначали на профілографі-профілометрі.

Параметри шорсткості поверхні визначаються в результаті обробки профілограм, які представляють собою збільшений профіль шорсткої поверхні (див. рис.6).

Параметри, які характеризують шорсткість поверхні, наведено в таблиці Класи шорсткості і значення базових довжин по ГОСТ 2789–73.

Визначали Rz (висота нерівності профілю по 10-и точках), формула для розрахунку

$$R_a = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |H_{i\max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i\min}| \right), \quad (1)$$

де  $H_{i\max}$  і  $H_{i\min}$  визначаються відносно середньої лінії.

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |h_{i\max}| - \sum_{i=1}^5 |h_{i\min}| \right), \quad (2)$$

де  $h_{i\max}$  і  $h_{i\min}$  визначаються відносно довільної прямої, яка паралельна середній лінії і не перетинає профіль;

Rz – сума середніх арифметичних відхилень точок 5-и найбільших максимумів і 5-и найбільших мінімумів, що знаходяться в межах базової довжини.

Відзначимо, що згідно ГОСТ 2789-73, базова довжина для визначення шорсткості Rz від 320 до 40 мкм повинна складати 8,0 мм, а Rz від 40 до 10 мкм бути складати 2,5 мм. Згідно [5, 6] плоскі оброблювальні поверхні при торцевому точінні (попередній метод обробки) Rz може знаходитись від 320 до 40 мкм, Ra взагалі не вираховується. Для чистової обробки Rz може знаходитись в діапазоні від 80 до 20 мкм

Перед розрахунком Rz на профілограмі проводили середину лінію, потім визначали 5 мінімальних значень та 5 максимальних значень впадин та виступів, які додавали у формулу (2). Отримані значення занесли у таблицю 4.

Після розрахунків отримано для торцевого точіння (попередній метод обробки) значення Rz

Таким чином, розрахунки показують, що обробка із ЗОР зменшує параметри шорсткості

Базова довжина L – довжина базової лінії, що використовується для виділення нерівностей, які характеризують шорсткість поверхні та для кількісного визначення її параметрів.

Вибір базової довжини в залежності від висоти нерівності і класу шорсткості вказано в ГОСТ 2789-73 .

Для визначення бази на зразку від центра наклеювали скотч, поверхня якого була взята за «нуль». Після цього голка профілометра рухалось від центру заготовки до краю. Теж саме стосується і інших профілограм.

Таблиця 4 – Значення Rz поверхні після точіння

Зразки	Rz, мкм
На сухо	30,55
Вода	3,51
ЗОР	2,85

Аналізуючи експериментальні дані можемо відзначити, що з початку руху різця по заготовці спостерігали наклеп значення якого становили 36 HRC.

Для визначення характеристик мікрогеометрії вибирають кілька ділянок (не менше п'яти), найбільш характерних для досліджуваної поверхні [6]

Довжина досліджуваного профілю повинна бути не менше базової довжини.

Таким, чином розрахунки показують, що обробка за допомогою ЗОР зменшує параметри шорсткості.

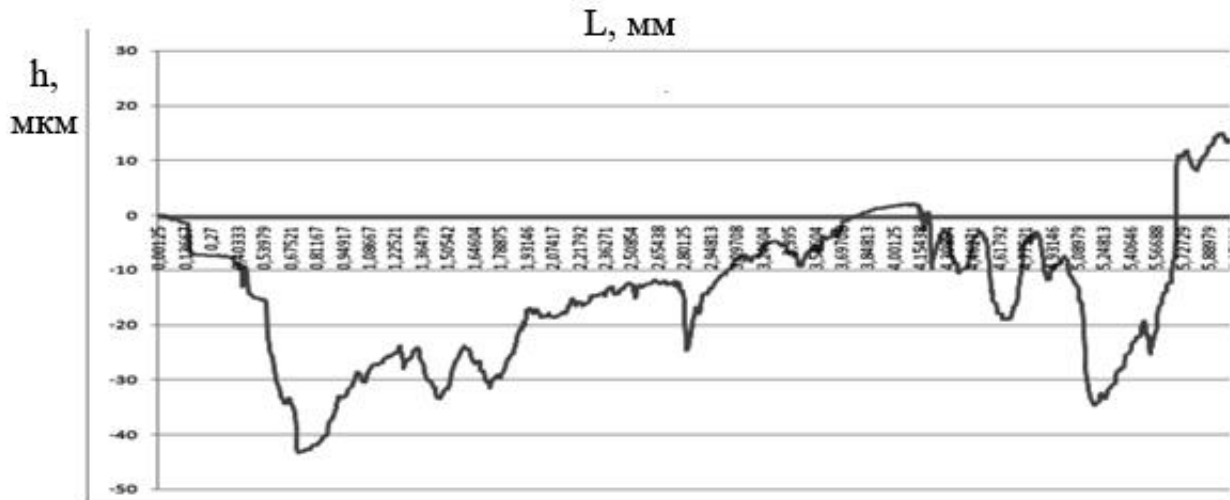


Рис. 6 – Фрагмент однієї з профілограм поверхні зразка сталі (від центру до краю) в умовах сухої обробки. Режим різання:  $t = 3$  мм,  $S = 0,1$  мм/об,  $V = 1$  м/с; різець оснащений твердосплавною пластиною ВК6

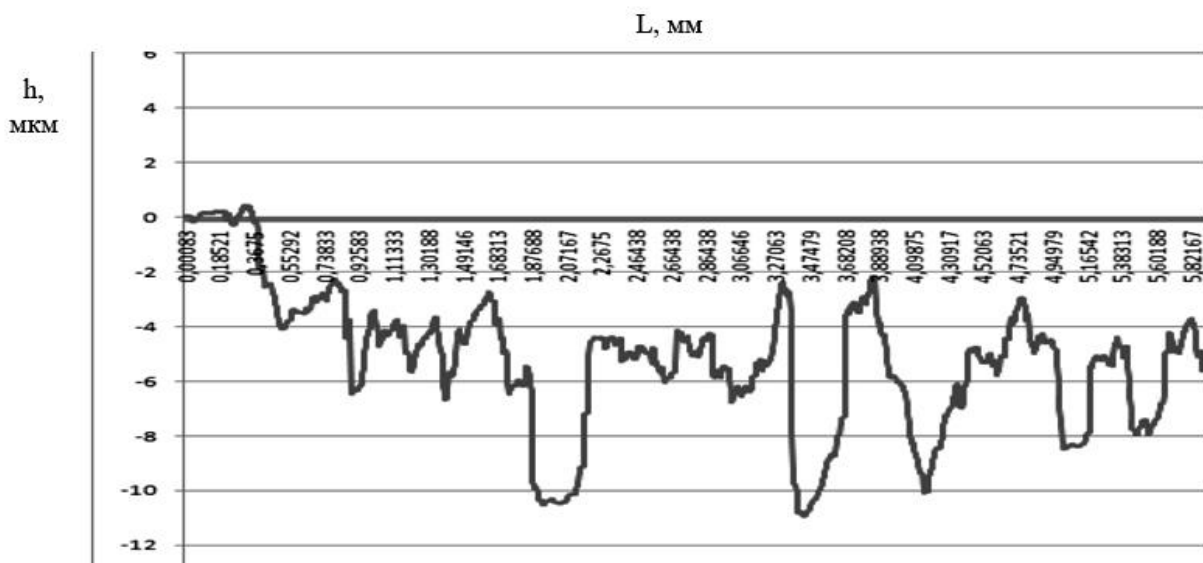


Рис. 7 – Фрагмент профілограми поверхні зразка роторної сталі (від центру до краю) при застосуванні ЗОР

Специфічний вплив ЗОРс пов'язаний з утворенням активних низькомолекулярних продуктів у зоні обробки і їх взаємодії з деформованим матеріалом. Зміни твердості поверхневих шарів металів при обробці в ЗОР пояснюємо мікролегуванням, активованою присутністю водню і гальмуючим рухом дислокацій підвищенням їх щільності, зниженням граничного напруження пластичної текучості матеріалу [7, 8].

На основі приведених даних випливає, що механічна обробка в ЗОРс покращує шорсткість поверхні.

**Висновки.** Проведено стендові випробування ЗОР, які підтвердили можливість її застосування при обробці точінням зразків сталей, що можуть застосовуватись в автомобільній галузі. Показано, що соняшникова (ріпакова) олії можуть ефективно замінити нафтові оливи при виробництві ЗОР і мають перспективу їх впровадження в якості основ ЗОР для обробки металів.

### Список літературних джерел

1. Екологічно чиста змащувально-охолоджуюча рідина для механічної обробки сталі (Ecologically clean lubricant-cooling liquid for steel machining) 12-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові. 28-29 травня, 2015 року. С. 80 – 81.
2. Alexander Balitskii, Hawrilyuk M., Elias J., Balitska W., Kolesnikow W. Efektywnosc olejow roslinnych jako cieczy smarujaco-chlodzacych w obrobce skrawaniem stali wirnikowych // Obrobka skrawaniem – 9.- Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Edwarda Miko // IX Szkoła Obrobki Skrawaniem, Sandomierz Kielce, 2015. – S. 168-176.
3. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов.—М.: Высш. шк., 1985,— 304 с, ил.
4. <http://works.tarefer.ru/82/100280/index.html>
5. Методы исследования и контроля шероховатости поверхности металлов и сплавов / Ю. Ф. Назаров, А. М. Шкилько, В. В. Тихоненко, И. В. Компанец // Физическая инженерия поверхности. – 2007. – Т. 5, № 3-4. – С. 207-216.
6. Измерение параметров шероховатости поверхности детали: <http://mt2.bmstu.ru/books/ish/Roughness%20measurement.pdf>.
7. Металлорежущие станки. Под ред. Бушуева В.В. Том 1. М.: Машиностроение, 2011. – 608 с.
8. Вульф А.М. Резание металлов. Изд. 2-е ,Л.: Машиностроение, 1973. – 496 с.

**Балицький Олександр Іванович** – д.т.н., професор, завідувач лабораторії водневої стійкості конструкційних сплавів відділу фізичних основ руйнування та міцності матеріалів в агресивних середовищах Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України.

**Колесніков Валерій Олександрович** – к.т.н., м.н.м. сумісник лабораторії водневої стійкості конструкційних сплавів відділу фізичних основ руйнування та міцності матеріалів в агресивних середовищах Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України; доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ "Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Старобільськ.

**Гаврилюк Марія Романівна** – мол. наук. спів. лабораторії водневої стійкості конструкційних сплавів відділу фізичних основ руйнування та міцності матеріалів в агресивних середовищах Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України.

**Ріней Ігор Володимирович** – к.т.н., провідний інженер Галремергерго ПАТ "ДТЕК Західенерго", м. Львів.

**Гарда Василь Михайлович** – аспірант Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України, м. Львів.

**Нестеров Артем Олександрович** – магістрант кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ "Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Старобільськ.