

Рисунок 6 – Результати моделювання пластини з дефектом

#### Література

1. Назначение и классификация теплообменных аппаратов: Режим доступа <https://openedu.urfu.ru/files/book/Глава%201.html>
2. Комплекс оборудования для ремонта и обслуживания трубных пучков /И.Г. Богородский, Я. Веркайк, Ф. ван Алевайк, Ю. Балье // Мат. семинара «Конструктивные и технологические решения по повышению эффективности тепло-массообменной и других видов аппаратуры нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств», г. Москва. –М., 2009. –С. 121–25.
3. Повзучість\_матеріалів: Режим доступу <https://uk.wikipedia.org/wiki>
4. Временная инструкция по технологиям ремонта сваркой дефектов труб и сварных соединений газопроводов. – М.: Газпром, 2005.

*Pihl T. Tallinn University of Applied Sciences,  
Tallinn, Estonia*

## THE RENOVATION TECHNOLOGY WITH COMBINED METHODS

Electroplating is a metal coating process, wherein a thin metallic coat is deposited on the specimen by means of ionized electrolytic solution. The specimen (cathode) and the metallizing source material (anode) are submerged in the solution where a direct

electrical current cause the metallic ions to migrate form the source material to the work piece. Plating is carried out for many beneficial reasons: corrosion resistance, improved appearance, wear resistance, higher electrical conductivity, better electrical contact

and other properties. Electroplating for different aluminium alloys may be serious problem if the purposed is to renovate worn or damaged surfaces. In this case the solution is to use good bond coating material for old- and new coating. In the current research are also used gas-dynamic powder spraying to achieve bond coat and after that it is possible to electroplate with different coatings [1].

The materials for gas-dynamic coatings depend of base material and mechanical properties for repair or renovating.

Specimens of aluminium alloy (EN AW 2024, EN 573) with dimensions 30×30×4 mm were blasted with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasive and coated with copper up to thickness of 150 μm. Given bond coat was sprayed with gas-dynamic spraying equipment Dymet 413. The specimens with same dimensions were subsequently polished to the surface roughness (Ra) of 0,8 μm for electrochemical (electroplated) coatings. The electroplated bond coat was blasted to have thickness of 7 μm (table 1).

*Table 1*

Blasting parameters for cold spraying bond coat

Gas for transportation: pressure of compressed air	0,6–1,0 MPa
Temperature of heated gas	30–500 °C
Gas flow	0,3–0,4 m <sup>3</sup> /h
Spraying distance	10–50 mm
Powder feeding	0,3–3,0 kg/h
Machine used	ILB 120
Grit used Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100–150 μm
Air pressure	0,6 MPa
Distance	40–50 mm

Equipment for cold spraying was Dymet 413 shown in Fig 1.

In the current research were used two different technologies for making the bond coat. Firstly base coat with cold spraying equipment Dymet 413 was made and after that bond coat was on based by electroplating. For sprayed bond coat were used special powder on base of copper (commercial type

C-01-01, Cu and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). The bond strength of the sprayed layer was from 40 MPa to 50 MPa.

The electroplating (brush plating) was done by applying commercially available solutions from Sifco Inc. The electroplating was carried out according to the supplier’s recommendations and specifications with the following parameters:

Mean current density  $I = 1,5 \text{ A/cm}^2$

Mean temperature  $t = 30 \text{ °C}$

Single phase power pack SMPX 60-35

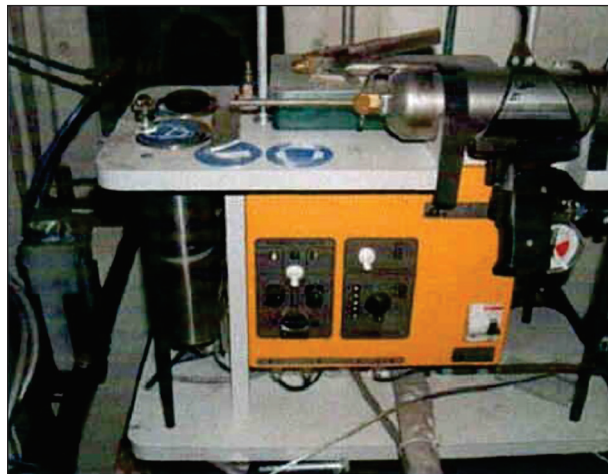
Electrolytes properties from supplier and research data can be followed in Table 2.

Hard chrome coating electrolyte were made on the base of chrome crystals from Caswelle Inc, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and mixed with distilled water [3]. The coated aluminium alloy specimen is shown in Fig. 2.

In figure 3 is shown the structure of sprayed copper and electroplated chromium coatings.

In figure 4 is given structure, where are shown two electroplated coatings. Bond coat is nickel and top coat chromium. The deposited thickness of the coating was 200 μm.

In figure 5 is shown wear resistant hard chrome coating without bond coat. On the graph of the microstructure can also be followed the course of cracks and structure after the start of corrosion.



*Fig. 1 – Cold spraying equipment Dymet 413*

*Table 2*

Electrolytes for wear resistant coatings on aluminium [2]

Operation	Material	Volts	Polarity
Electro clean	SCM 4100	10 to 12	Forward
Pre-wet and etch	SCM 4300		Reverse
Pre-wet and pre-plate	Nickel SPS 5600		Forward
Electroplate	SPS 5727		
Electroplate	SPS 5644		

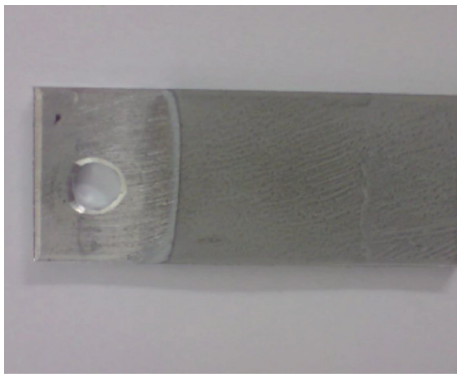


Fig. 2 – Coated specimen with hard chromium

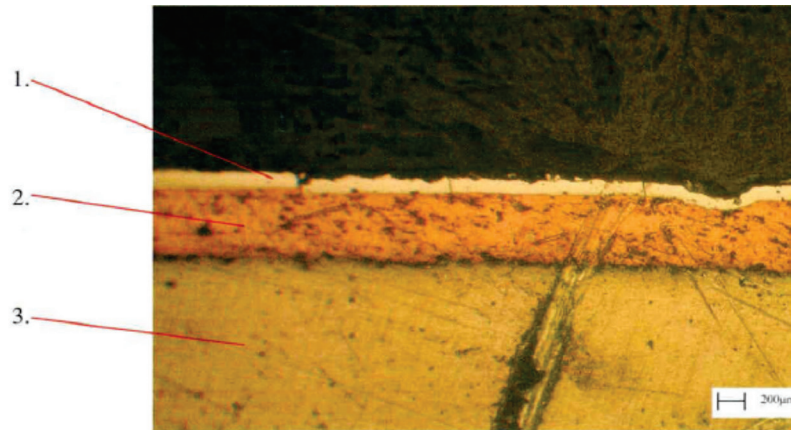


Fig. 3 – The coating structure: 1 – electroplated hard chromium, 2 – sprayed copper bond coat, 3 – base material (aluminium)

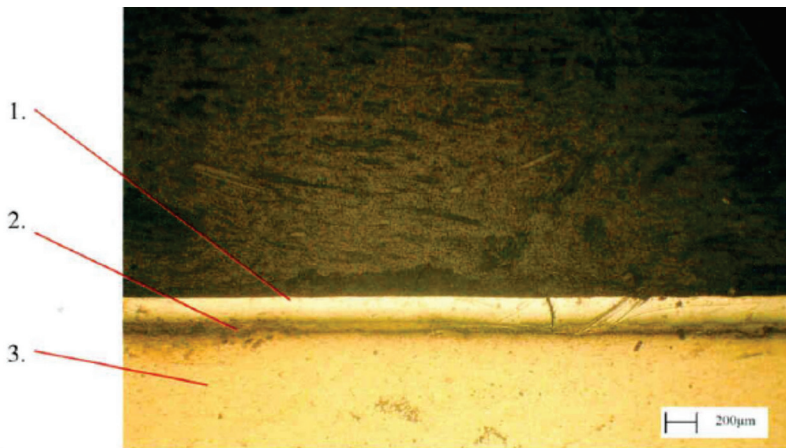


Fig. 4 – The electroplated coatings structure: 1 – electroplated chromium, 2 – electroplated nickel, 3 – base material aluminium

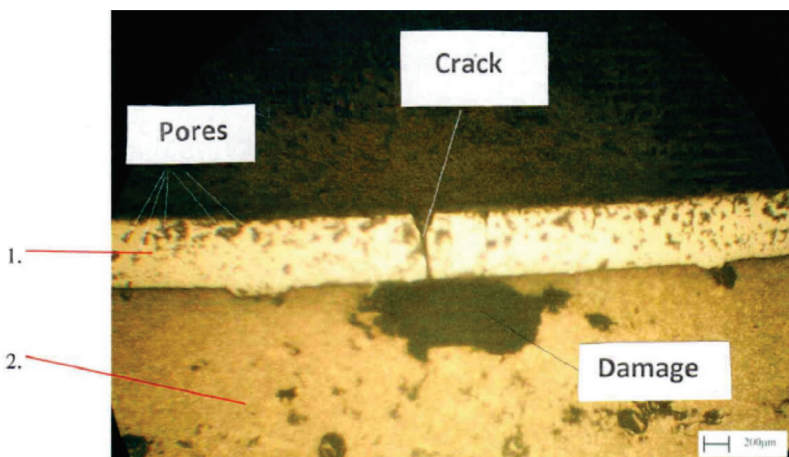


Fig. 5 – The structure of damaged hard chrome coating without bond coat; 1 – hard- chrome coating, 2 – base material (aluminium)

The properties of coatings depend on current density and deposition time. Using too low current density ( $0,2-0,5 \text{ A/cm}^2$ ) causes the process to proceed slowly and bond strength between coating and base material will not be sufficient (Fig. 6).

The sprayed copper bond coat consist the small particles of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (small black points) The results of the current research show that the depositing time has to be between 60–90 minutes. Using depositing time more 90 minutes causes appearance of cracks and increases the porosity. Increasing the thickness over  $300 \mu\text{m}$ , causes the need apply more than one layer and before depositing new layer heating the specimens up to  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  and hold steadily for 30 minutes. In figure 7 are shown the defects caused by wrong application parameters.

In the current research was investigated and measured the hardness of coatings as an important factor of sliding wear properties. The results of Vickers hardness are given in Table 3. From the measured data can be followed the dependence of base coat hardness



Fig. 6 – The structure of deposited coating with low current density: 1 – hard-chrome coating, 2 – bond coat (nickel), 3 – base material (aluminium)



Fig. 7 – The damaged structure of hard-chrome coating: 1 – hard-chrome coating, 2 – bond coat (nickel), 3 – base material (aluminium)

For testing the bond strength were used the bending of sprayed coating. The different results are shown in figures 8–11.

For renovation worn machine parts and different scratches the first crucial action is to prepare the surfaces. The next step will be filling the scratches or renovate the dimensions with gasdynamic spraying. The sprayed coatings structure are given in figures 12 to 17 below.

Before the electroplating it is needed to machine the surfaces.

Table 3

The Vickers hardness of electrochemical coatings

Specimen	Hardness
Base material AlCuMg1	75 HV 3/15
Base coat sprayed copper Top coat hard -chromium	141 H V3/15
Base coat nickel Top coat hard-chromium	269 HV 3/15
Base coat (Aeronickel) <sup>1</sup> Top coat hard -chromium	342 HV 3/15
Commercially coated cilider	407 HV 3/15

<sup>1</sup> – Sifco product SPS 5644



Fig. 8 – The the coating bond strength tested samples



Fig 9 – Al Zn coating (90 deg)



Fig 10 – The tested sample with Cu (45 deg)



Fig 11 – The tested sample with Cu 90 deg)



Fig 12. The Ni Zn coating on aluminium

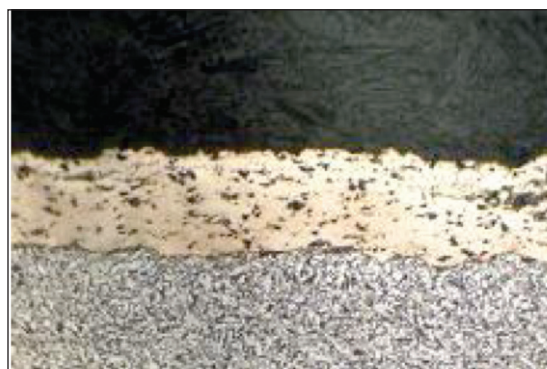


Fig 13. The Ni Zn coating on steel



Fig 14 The CuZn coating on aluminium alloy

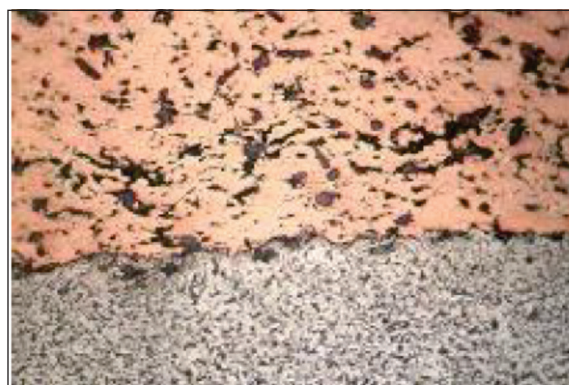


Fig 15. The CuZn coating on steel



Fig 16 – The Ni coating on aluminium alloy



Fig 17 – The Ni coating on steel

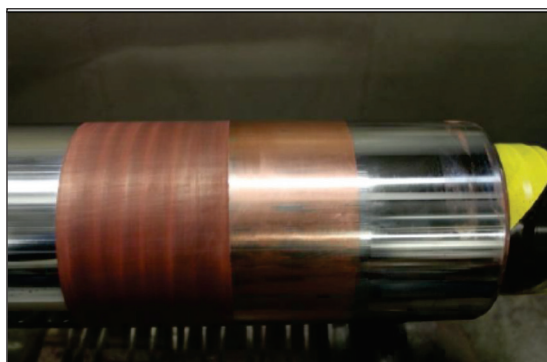


Fig. 18 – The renovated shaft before hard chromium or Nickel coating



Fig. 19 – The renovated scratch in in engine block

### Conclusions

The whole plating process where work piece from aluminium alloy was plated with hard chromium coating is described in detail. The research results were obtained in the laboratory.

Overall, it appeared that the galvanization is based on electrolytic process which allows plating decorative, wear-proof and corrosion resistant coatings. It also appeared that during the coating process it is recommended to use current in the range of  $0,5-1,0 \text{ A/cm}^2$ , in order to achieve the best relationship between the porosity and adhesion.

Structural studies showed that the hard chromium is by nature a very porous material and if too high current is used while plating the work piece, the number of pores increase rapidly. That as a result causes cracks in coating.

The research also showed that the thickness of the coating depends on the time of specimen handling. The longer the process lasts, the thicker coating is achieved. However, plating excessively thick coating layer increases internal tensions in plated metal which also cause cracking and chunking.

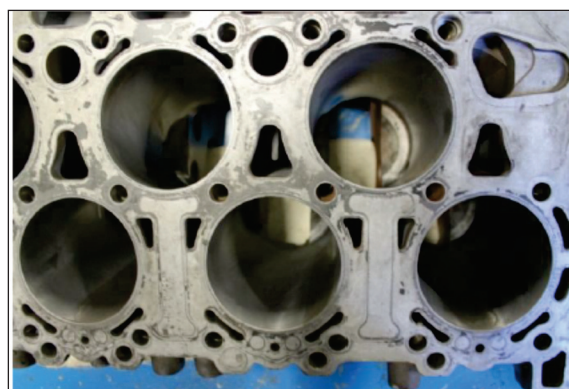


Fig. 20 – Renovated engine block with combined coatings

From the results of micro-hardness tests, which showed  $257-336 \text{ HV } 3/15$ , it can be concluded that the durability of the coating is very high, so the hard-chromium is suitable for cover the cylinders of engines or repairing defects as shown in Fig. 19 and Fig. 20.

Further investigations could be carried out in the field of electrolytes to get to know their precise formulations, which allows determining the impact

of different chemicals on plating results. In addition, the thickness of coating should be investigated due to internal tensions in other words; it is advisable to

continue the research to find out how thick layer at a time can be plated to prevent generating excessive internal stresses.

### References

1. Rubinstein M. Electrochemical metallizing. – New York: Van Nostrand Reinhold CO, 1986 Caswell Inc. The Complete.
2. SIFCO Process Instruction Manual, 339. – England, 1999.
3. Planting Manual Version 9 UK / Europe (2007).

*Радько О.В., Науменко Н.О. Національний авіаційний університет,  
Медведєва Н.А. Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
Скуратовський А.К. НТУ України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря  
Сікорського», Київ, Україна*

## УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Досвід провідних міжнародних компаній доводить, що стабільність розвитку бізнесу і підвищення ефективності управління неможливі без активного використання ризик-менеджменту як складової частини системи управління компанією незалежно від її масштабів і специфіки виробництва або надання послуг. Особливо важливим це є для підприємств машинобудівної галузі, яка займає одне з перших місць за масштабами виробництва, об'ємами продукції, що виробляється, за складністю виробничих та організаційних процесів. Чинниками, які підвищують актуальність вивчення проблеми організації управління ризиками на машинобудівному підприємстві є багатогранність форм прояву ризику, неможливість абсолютного уникнення його ймовірності, відсутність універсальних засобів мінімізації ризику та втрат.

У роботі запропонована методика управління ризиками для підприємства машинобудівної галузі, розроблена на підставі узагальнення результатів аналізу положень нормативних документів [1–3] та досліджень ряду фахівців у галузі управління ризиками [4–6].

Методика реалізується у декілька етапів:

1. Початок процесу управління ризиками.
2. Загальне оцінювання ризику.
3. Вироблення управляючих впливів.
4. Реалізація управляючих впливів.
5. Моніторинг та критичне аналізування.

Декомпозиція першого етапу виглядає таким чином:

- вибір об'єкта управління ризиками (наприклад, процес або група процесів);
- формування групи експертів (5–10 осіб, які повинні бути компетентні і належним чином поінформовані в галузі функціонування об'єкта управління ризиками. Наприклад, керівники та споживачі процесів тощо);
- збір вихідної інформації;
- визначення необхідних ресурсів;
- встановлення критеріїв ризику;
- визначення періодичності дослідження.

Другий етап складається з наступних підетапів: ідентифікування ризику, аналізування ризику, оцінювання ризику.

Для ідентифікування ризику експертною групою використовується метод «мозкового штурму» з наступною побудовою діаграми Ісікави, яка виступає в якості методу графічної візуалізації небезпек.

Стадії аналізування та оцінювання ризику полягають у визначенні рівня ризику для кожної виявленої небезпеки, що впливає на процес. Кількісне оцінювання ризиків здійснюють за методом аналізу видів та наслідків відмов FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) з визначенням «пріоритетного числа ризику» – RPN (Risk Priority Number):

$$RPN = S \cdot F \cdot D,$$

де  $1 \leq S \leq 10$  – значимість (оцінка найбільш серйозного наслідку отенційної загрози (ризика) для об'єкту;  $1 \leq F \leq 10$  – відображає ймовірність ви-