

Krause, Janusz

Badania nad oczyszczaniem żelaznych obiektów zabytkowych metodą chemiczną

Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 5 (52), 117-134

1974

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

*Zakład Konserwacji Elementów
i Detali Architektonicznych*

Janusz Krause

BADANIA NAD OCZYSZCZANIEM ŻELAZNYCH OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH METODĄ CHEMICZNĄ

Oczyszczanie powierzchni obiektów żelaznych z produktów korozji prowadzić można różnymi metodami. Stopień skorodowania, własności wytrzymałościowe oraz indywidualne cechy obiektu zabytkowego, warunkują dobór odpowiedniej metody usuwania nawarstwień korozyjnych. Stosowana metoda nie powinna wpłynąć na zmianę własności technologicznych oczyszczanego obiektu, przy równoczesnym zapewnieniu całkowitego usunięcia produktów korozji z metalu.

Prosty sposób traktowania obiektu w metodzie chemicznego oczyszczania wpłynął na jej rozpowszechnienie w praktyce konserwatorskiej. W metodzie tej czynnikiem rozpuszczającym, rozluźniającym oraz częściowo odrywającym produkty korozji jest wodór, który dyfunduje w kierunku skorodowanej powierzchni żelaza zanurzonego w danej kąpeli oczyszczającej. Sposób nanoszenia środka oczyszczającego na powierzchnie obiektu pozwala na wyodrębnienie w metodzie chemicznej następujących odmian:

- oczyszczanie poprzez kąpiele „odrdzewiające”;
- oczyszczanie przy pomocy past „odrdzewiających”¹;
- oczyszczanie kwaśną inhibitowaną parą wodną².

Przedstawione odmiany chemicznego traktowania skorodowanych powierzchni żelaza wymagają przed ich praktycznym zastosowaniem odpowiednich badań, przeprowadzonych w warunkach doświadczalnych — laboratoryjnych. Oparte są one w ogólnym założeniu na tych samych podstawach teoretycznych.

¹ M. Svoboda, V. Šourek, *Chemiczne traktowanie powierzchni stalowych pod ochronne powłoki malarskie*, Chemik nr 9, 1967, s. 337—342.

² J. Krause, *Zastosowanie past oczyszczających do usuwania produktów korozji z powierzchni żelaznych obiektów zabytkowych*, Zeszyty Naukowe UMK, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo V.

OCZYSZCZANIE OBIEKTÓW ŻELAZNYCH W KĄPIELACH „ODRDZEWIAJĄCYCH”

Ten sposób oczyszczania jest stosunkowo szybki i nie wymagający specjalnych urządzeń. Podkreślić jednak należy, iż stosowanie go bez należytej ostrożności, spowodować może nieodwracalne zmiany w obiekcie. Przy zbyt dużych stężeniach kwasów, nastąpić może naruszenie obiektu (rozpuszczenie, nadtrawienie żelaza), lub po niedokładnym wypłukaniu kwasu po zabiegu, występować będą procesy wtórnej korozji.

Podstawowymi składnikami kąpeli odrdzewiających są kwasy oraz inhibitory (opóźniacze), które powstrzymują działanie roztwórcze kwasów. Działanie kwasu na oczyszczany obiekt jest dwojakiego rodzaju³.

- w reakcji redukcji żelaza wydziela się wodór spalniający oraz rozluźniający produkty korozji;
- częściowe rozpuszczanie produktów korozji i żelaza.

Celem powstrzymania ujemnych skutków działania kwasów dodaje się do nich substancji powstrzymujących rozpuszczanie żelaza, które nazywamy opóźniaczami lub inhibitorami. Inhibitorami mogą być związki nieorganiczne i organiczne. Dobrymi inhibitorami nieorganicznymi są sole metali wykazujących duże nad napięcie w stosunku do wodoru (arsenu, antymonu, bizmutu oraz miedzi). Ze związków organicznych najlepszymi inhibitorami są te, które posiadają budowę asymetryczną, są zdolne do jonizacji, koloidalne oraz posiadające grupy: $=C=$, $=S=$, $-N$. Ogólnie można powiedzieć, iż inhibitorami organicznymi są związki, które posiadają dodatni ładunek elektryczny. W związkach organicznych umiejscowiony on jest na atomach siarki, azotu oraz węgla z podwójnymi wiązaniami.

MECHANIZM DZIAŁANIA INHIBITORÓW

Problem działania ochronnego inhibitorów w kąpielach oczyszczających nie jest jeszcze w pełni rozwiązany. Istnieje wiele teorii tłumaczących działanie inhibitorów, jedną z nich jest teoria „warstwy zaporowej”⁴, która w prosty sposób tłumaczy powstrzymywanie działania kwasów na metal przez inhibitor.

Metal zawarty w soli inhibitującej wydziela się w zetknięciu z mniej szlachetnym metalem jakim jest żelazo i osadza na jego odsłoniętych powierzchniach, którymi są ujemne bieguny ogniów (katody). Dzięki temu inhibitor hamuje rozpuszczanie żelaza w kwasie. A więc inhibitor tworzy powłokę na odsłoniętym żelazie, która będąc katodą w stosunku do żelaza, powstrzymuje jego rozpuszczanie. Natomiast dodatnio naładowane grupy inhibitora organicznego przyciągane są przez centra korozyjne powstałe na obiekcie (odsłonięte powierzchnie żelaza) powstrzymując przez to roz-

³ L. L. Shreira, *Korozja metali i stopów*, Warszawa 1967, s. 349.

⁴ L. L. Shreira, *Ochrona przed korozją*, Warszawa 1967, s. 708—739.

puszczanie żelaza w kąpielach odrdzewiających. Dalszy efekt działania inhibitorów organicznych polega na odpychaniu dodatnio naładowanych tlenowych substancji korozyjnych. Działanie to ułatwia oddzielenie warstw korozyjnych od powierzchni metalu (rozluźnienie, odrywanie).

CEL I ZAKRES PRACY

Literatura konserwatorska omawiająca metodę chemicznego oczyszczania żelaznych obiektów zabytkowych daje wiele przykładów kompozycji kąpeli „odrdzewiających”. D. J. Smirnowa⁵ podaje, iż rdzę rozpuszczają roztwory kwasów szczawowego i cytrynowego oraz roztwór cytrynianu amonu. Według R. Berce do oczyszczania obiektów stosować można roztwory kwasu siarkowego z dodatkiem inhibitorów (urotropina, butandiol)⁶. Plenderleith w swej pracy omawia substancje firmowe (Versene T, Versene Fe — 3 specific. Plus-Gas-Fluid, ACP Deoxidine) stosowane do oczyszczania żelaza, kompozycje ich oparte są na bazie kwasu fosforowego⁷.

Według jego zaleceń, kąpiele te wzmacnia dodatek takich substancji, jak wodorotlenek sodu, podsiarczyn sodu. W pracy Wojciechowskiej spotykamy następującą kompozycję kąpeli oczyszczającej: 35% kwasu fosforowego, 20% alkoholu etylowego, 5% alkoholu butylowego, 1% hydrochinonu i 39% wody⁸. A. Kanwiszer stosuje do oczyszczania żelaza kompozycje: 5% chlorku cynowego zakwaszonego kwasem winowym w temperaturze 40—50°C⁹. Praca J. B. Pelikana daje taki przykład odrdzewiacza kwas fosforowy, butanol, sulfotlenek dwubenzylu¹⁰. Większość prac wskazuje na ujemne strony stosowania kąpeli chemicznych. Przykładem tego rodzaju badań są prace: V. Cupera, Pelikana, H. Jędrzejewskiej, w których autorzy stwierdzają, iż niedokładne wypłukanie resztek kwasu po oczyszczeniu żelaza inicjować może wtórne procesy korozyjne¹¹.

⁵ D. J. Smirnowa, *Restauracja i issledowanie chudożestwiennych pamiatnikow*, Moskwa 1955.

⁶ R. Berce, *Die Metallkonservierung in Museum im Lichte der Korrosienbekämpfung*, *Archeologia Austriaca* nr 1, 1955, s. 18.

⁷ R. J. Plenderleith, *The Conservation of Antiquities and Works of Art*.

⁸ A. Wojciechowska, *Metody konserwacji metalowych zabytków archeologicznych*, Biblioteka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, seria B, t. 5, Konserwacja zabytków metalowych, Warszawa 1963, s. 167.

⁹ A. Kanwiszer, *Wybrane problemy konserwacji metali*, *Prace i materiały Muzeum Archeologicznego i Etnograficznego w Łodzi*, nr 13, 1966, s. 107—129.

¹⁰ E. J. Pelikan, *The Use of Polyphosphate Complexes in the Conservation of Iron and Steel Objects*, *Conservation* nr 2, 1964, s. 59—66.

¹¹ V. Cuper, J. B. Pelikan, *Beitrag zur Klärung der Anfangskorrosion, Metalloberfläche*, 1963, s. 17; H. Jędrzejewska, *Zagadnienia konserwacji łuf armatnich w warunkach ekspozycji zewnętrznej*, *Muzealnictwo Wojskowe*, nr 1, 1959, s. 127.

Przytoczony przegląd środków chemicznych stosowanych do oczyszczania zabytkowych obiektów żelaznych pozwala sądzić, iż w praktyce konserwatorskiej mało uwagi poświęca się parametrom (stężenie: kwasu, inhibitora, temperatura i czas prowadzenia kąpeli) określającym warunki stosowania kąpeli „odrdzewiających”. Ponadto prace te nie uwzględniają skuteczności działania kąpeli w zależności od stopnia skorodowania obiektu. Celem przeanalizowania wymienionych parametrów oraz określenia skuteczności działania kąpeli (w zależności od grubości produktów korozji) podjęto badania w ramach, których przeanalizowano:

- działanie czystych kwasów na produkty korozji;
- działanie czystych kwasów na żelazo;
- wpływ temperatury na skuteczność usuwania produktów i rozpuszczanie żelaza;
- wpływ stężenia kwasów na szybkość usuwania produktów oraz ilość rozpuszczanego żelaza;
- udział inhibitora w powstrzymaniu rozpuszczania żelaza;
- zabiegi po usunięciu produktów korozji (płukania, zubożnianie, odsalanie, suszenie).

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Badania przeprowadzano z kwasami nieorganicznymi: o-fosforowy, siarkowy, solny oraz organicznymi: mrówkowy, cytrynowy, winowy, szczawiowy. W drugim etapie pracy do roztworów kwasów dodawano inhibitory: trójtlenek arsenu, siarczan miedzi, chlorek cynawy, chlorek antymonu, dwumetylosulfotlenek, inhibitor LH-13, urotropina, hydrochinon, 8-o-chinolina, żelatyna, formaldehyd, tyloza, mocznik, tanina, kwas sulfanilowy, guma arabska, chlorowodorek dwuetyloaminy.

Wszystkie badania przeprowadzano na próbkach żelaza o gabarytach: 40 mm × 30 mm × 3 mm do 50 mm × 30 mm × 3 mm, ciężar próbek w granicach od 29 g do 33 g.

W celu uzyskania jednorodnych nawarstwień korozyjnych na standardowych próbkach przeznaczonych do badań, poddano je procesowi „przyśpieszonego rdzewienia”. Proces przeprowadzano w następujący sposób: próbki zanurzano na okres 15 sek. (pięciokrotnie w odstępach dwugodzinnych) w roztworze o składzie: 0,005% kwas siarkowy, 3% chlorek sodu, 5% nadtlenuk wodoru¹². Następnie próbki pozostawiono w pomieszczeniu o temperaturze pokojowej na okres dwóch tygodni. Tak przygotowane próbki pozwoliły na przeprowadzenie badań ilościowych i jakościowych związanych z określeniem skuteczności działania czystych kwasów oraz kompozycji kąpeli odrdzewiających na produkty korozji.

¹² E. Chyżewski, *Metody określania strat metalu w badaniach korozyjnych żelaza i stali*, Przegląd Techniczny, nr 25, 1937, s. 880—884.

CZAS OCZYSZCZANIA PRÓBEK ŻELAZA W ROZTWORACH KWASÓW W ZALEŻNOŚCI OD STĘŻENIA I TEMPERATURY KĄPIELI

W celu określenia działania kwasów: siarkowego, o-fosforowego, solnego, mrówkowego, szczawiowego, winowego i cytrynowego na rdzę, przeprowadzono oczyszczanie standartowych próbek w roztworach tych kwasów o różnych stężeniach, oczyszczanie prowadzono do temperatur: 20°C, 40°C, 50°C, 60°C. Poprzez te badania starano się określić najwłaściwsze stężenie kwasu i temperaturę dla procesu chemicznego usuwania rdzy. Zabieg chemicznego usuwania produktów korozji wspomagano mechanicznie (pocieranie szczotką metalową i ryżową rozluźnionych produktów) w odstępach 5 minutowych od momentu zanurzenia płytki w roztworze kwasu. Dla temperatur wyższych oczyszczanie prowadzono w następujący sposób: cylindry preparacyjne z roztworami kwasów umieszczano w termostatowanej łaźni wodnej, po ustaleniu się temperatury zanurzano w nich próbki skorodowanego żelaza. Prowadzono po trzy równoległe próby dla danego stężenia kwasu i temperatury. Tab. 1 ilustruje wyniki prowadzonych badań (w tabeli jako wynik przyjęto średnią z trzech oznaczeń).

Uzyskane wyniki wskazują, że wraz ze wzrostem stężenia oraz temperatury kwasu wzrasta jego działanie w stosunku do produktów korozji. Zależność powyższa związana jest ze wzrostem stopnia dysocjacji kwasu (wzrost stężenia jonów wodorowych), a więc czynnika przyspieszającego rozluźnianie, odrywanie oraz częściowe rozpuszczanie rdzy, który dyfunduje w kierunku skorodowanej powierzchni żelaza. Największą aktywność posiada kwas solny (najwyższy stopień dysocjacji), z kwasów organicznych kwas mrówkowy. Można sądzić, iż najdogodniejszą temperaturą dla kąpeli kwasowych jest temperatura 50°C, natomiast przy kwasach organicznych szybkość usuwania produktów wzrasta proporcjonalnie do wzrostu temperatury. Podkreślić należy, iż w chemicznym usuwaniu rdzy był duży udział zabiegów mechanicznych. Prowadzono również próby usuwania „starej rdzy” (grube warstwy produktów korozji) roztworami kwasów: solnego, siarkowego, o-fosforowego o wyższych stężeniach (20%, 30%, 40%), nie osiągnięto pozytywnego rezultatu pomimo przedłużenia czasu kąpeli do 24 godzin. Wszystkie badania dotyczyły jakościowej oceny usuwania produktów korozji z powierzchni skorodowanych próbek żelaza. Oczyszczanie prowadzono do momentu całkowitego usunięcia rdzy.

OZNACZENIE WPŁYWU CZASU, TEMPERATURY I STĘŻENIA

Badania przeprowadzono w celu wyodrębnienia kwasu, który w najmniejszym stopniu rozpuszcza żelazo, przy równoczesnym zachowaniu

Tabela 1

Wpływ stężenia i temperatury kwasów na szybkość usuwania produktów korozji z powierzchni skorodowanych próbek żelaza

Kwas	Stężenie kwasów w % wag	Temperatura roztworów kwasów w °C			
		20	40	50	60
		czas usunięcia produktów korozji z powierzchni próbki metalu w min.			
Siarkowy	5	75	30	13	4,0
	10	60	28	11	4,0
	15	25	24	12	3,5
	20	20	20	11	3,5
	30	17	24	13	2,5
	40	17	24	12	2,5
	60	15	17	13	3,5
	95	14	17	11	3,0
O-fosforowy	5	100	18	12	15
	10	80	18	12	8
	15	50	14	12	7
	20	45	14	11	6
	30	17	14	11	5
	40	18	14	11	5
	50	20	12	10	5
	85	20	12	10	5
Solny	5	50	33	15	—
	10	30	21	12	—
	15	19	12	6	—
	20	11	5	2	—
	30	8	2	—	—
Mrówkowy	10	135	32	25	15
	20	125	30	23	9
	40	60	14	18	8
	60	55	30	18	13
	85	40	23	15	8
Szczawiowy	9	150	40	55	15
Winowy	10	255	80	70	20
	20	40	34	32	16
	30	35	28	50	18
Cytrynowy	10	240	70	60	25
	20	35	32	40	20
	30	22	18	40	20

skuteczności działania na produkty korozji. Przeprowadzono oznaczenia strat ilościowych żelaza powstałych w wyniku jego zanurzenia w roztworach kwasów o różnym stężeniu w okresach: 5, 10, 15, 30, 60 min

dla kwasu solnego, 10, 20, 40, 60, 120 min dla kwasu siarkowego i o-fosforowego, oraz 30, 60, 90, 150 min dla kwasów organicznych. Badania prowadzono dla temperatur: 20°C, 40°C, 50°C, 60°C. Przed wazeniem każdą próbkę żelaza płukano (celem wypłukania resztek kwasu) w strumieniu wody bieżącej i acetonie oraz suszono. Wyniki strat żelaza podano w ‰ wag. z dokładnością do setnej części procenta.

Tabela 2

Wpływ stężenia i temperatury kwasu solnego na rozpuszczanie żelaza

Stężenie kwasu w ‰	Czas zanurzenia próbki w min.	Temperatura kwasu w °C		
		20	40	50
straty żelaza w ‰ wag.				
5	5	0,08	0,01	0,02
	10	0,09	0,02	0,02
	15	0,10	0,03	0,04
	30	0,22	0,05	0,05
	60	0,28	0,10	0,10
10	5	0,21	0,01	0,01
	10	0,25	0,03	0,03
	15	0,29	0,05	0,03
	30	0,30	0,10	0,10
	60	0,38	0,18	0,19
15	5	0,24	0,03	0,02
	10	0,29	0,04	0,04
	15	0,33	0,07	0,04
	30	0,38	0,12	0,12
	60	0,48	0,39	0,38

Kwas solny

W temperaturze 20°C szybkość rozkładu żelaza wzrasta wraz ze wzrostem stężenia kwasu, badania prowadzono przy stężeniach 5‰, 10‰, 15‰. W temperaturze wyższej (40°C, 50°C) dla tych samych stężeń kwasu, następuje znacznie mniejsze roztworzenie żelaza i tak w odniesieniu do temperatury 40°C i 50°C przy stężeniach niższych (5‰, 10‰) kwasu otrzymujemy dwukrotnie mniejszą rozpuszczalność żelaza (określana po 60 min zanurzenia próbki).

Kwas siarkowy

Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie temperatury 50°C jako najkorzystniejszej dla kąpieli oczyszczającej z tym kwasem, (w tem-

Tabela 3

Wpływ stężenia i temperatur roztworów kwasu siarkowego na rozpuszczanie żelaza

Stężenie kwasu w %	Temperatura kwasu w °C				Czas zanurzenia płytki w min.	Temperatura kwasu w °C				Stężenie kwasu w %
	20	40	50	60		20	40	50	60	
	straty żelaza w % wag.					straty żelaza w % wag.				
5	0,01	0,04	0,02	0,07	10	0,06	0,12	0,04	0,07	30
	0,03	0,06	0,06	0,10	20	0,11	0,13	0,07	0,17	
	0,07	0,09	0,11	0,21	40	0,20	0,20	0,15	0,35	
	0,08	0,11	0,13	0,31	60	0,23	0,27	0,22	0,56	
	0,16	0,18	0,11	0,53	120	0,37	0,43	0,23	1,18	
10	0,02	0,10	0,02	0,03	10	0,06	0,08	0,05	0,04	40
	0,06	0,12	0,03	0,09	20	0,07	0,11	0,06	0,11	
	0,11	0,12	0,09	0,20	40	0,11	0,11	0,08	0,30	
	0,13	0,14	0,12	0,13	60	0,14	0,23	0,11	0,46	
	0,24	0,25	0,13	0,61	120	0,16	0,36	0,11	0,73	
15	0,10	0,18	0,03	0,05	10	0,06	0,03	0,01	0,02	60
	0,17	0,24	0,07	0,11	20	0,08	0,04	0,02	0,05	
	0,23	0,30	0,11	0,27	40	0,13	0,06	0,04	0,13	
	0,25	0,34	0,19	0,44	60	0,14	0,08	0,06	0,19	
	0,32	0,44	0,16	0,87	120	0,20	0,12	0,10	0,27	
20	0,09	0,04	0,03	0,07	10	0,07	0,06	0,01	0,02	95
	0,15	0,18	0,14	0,15	20	0,09	0,08	0,04	0,05	
	0,24	0,23	0,13	0,28	40	0,17	0,11	0,07	0,10	
	0,30	0,27	0,18	0,48	60	0,18	0,14	0,09	0,13	
	0,32	0,33	0,22	1,06	120	0,22	0,17	0,11	0,16	

peraturze tej następuje najmniejsze roztwarzanie metalu). Największa rozpuszczalność żelaza występuje przy stężeniach: 15%, 20%, 30% i temperaturach kąpeli 20°C, 40°C, 60°C. W temperaturze 50°C następuje minimalny wzrost rozpuszczalności żelaza dla tych stężeń związany on jest z wysokim stopniem dysocjacji jaki wykazuje kwas siarkowy w tych warunkach. Natomiast przy stężeniach wyższych kwasu (40%, 60%, 95%) następuje znaczne obniżenie rozpuszczalności żelaza, które tłumaczyć można utleniającymi własnościami kwasu i powstawaniem na powierzchni metalu warstewek pasywnych (prawdopodobnie tlenkowych) powstrzymujących dalsze rozpuszczanie¹³. Jednakże wyższych stężeń kwasu siarkowego do kąpeli oczyszczających stosować nie można, ponieważ istnieje prawdopodobieństwo występowania korozji międzykrystalicznej, która wpływa destrukcyjnie na metal¹⁴.

¹³ N. D. Tomaszow, *Teoria korozji i ochrona metali*, Warszawa 1962.

¹⁴ L. L. Shreira, *Ochrona*, op. cit.

Kwas o-fosforowy

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzić można, iż aktywność tego kwasu w porównaniu z dwoma poprzednimi jest znacznie niższa. Również i tuaj najniższa rozpuszczalność metalu występuje przy temperaturze 50°C. Wraz ze wzrostem stężenia kwasu rośnie rozpuszczalność żelaza. Zależność ta ma swe uzasadnienie w trójstopniowej dysocjacji kwasu o-fosforowego. Wydaje się, iż z racji powolnego działania kwas ten najlepiej nadaje się do kąpieli oczyszczających. Dodatkowa zaleta tego kwasu związana jest z powstawaniem w trakcie oczyszczania na powierzchni odsłoniętego żelaza warstewki fosforanów, powstrzymującej nadmierne rozpuszczanie metalu i zabezpieczającej metal przed wpływami korozyjnymi. Do oczyszczania stosować należy kwas o stężeniach do 35%, przy których powstają warstwy fosforanu potrójnego żelaza, trudno rozpuszczalne, będące w równowadze z roztworem kwasu. Przy wyższych stężeniach (ponad 35%) na powierzchni metalu powstają hi-

Tabela 4

Wpływ stężenia i temperatur kwasu o-fosforowego na rozpuszczanie żelaza

Stężenie kwasu w %	Temperatura kwasu w °C				Czas zanurzenia w min.	Temperatura kwasu w °C				Stężenie kwasu w %
	20	40	50	60		20	40	50	60	
	straty żelaza w % wag.					straty żelaza w % wag.				
5	0,02	0,03	0,00	0,06	10	0,06	0,06	0,01	0,05	30
	0,04	0,04	0,02	0,09	20	0,08	0,09	0,03	0,09	
	0,07	0,07	0,03	0,13	40	0,18	0,13	0,07	0,18	
	0,11	0,09	0,05	0,17	60	0,19	0,18	0,16	0,18	
	0,16	0,13	0,10	0,25	120	0,27	0,30	0,20	0,49	
10	0,03	0,07	0,02	0,07	10	0,07	0,09	0,03	0,06	40
	0,05	0,09	0,03	0,19	20	0,09	0,13	0,07	0,10	
	0,11	0,11	0,06	0,17	40	0,15	0,19	0,13	0,17	
	0,13	0,14	0,06	0,22	60	0,16	0,25	0,22	0,24	
	0,21	0,16	0,09	0,33	120	0,29	0,35	0,34	0,43	
15	0,04	0,07	0,00	0,07	10	0,06	0,11	0,03	0,08	50
	0,08	0,09	0,02	0,10	20	0,07	0,16	0,05	0,12	
	0,12	0,13	0,06	0,16	40	0,14	0,18	0,10	0,24	
	0,15	0,17	0,09	0,20	60	0,15	0,25	0,23	0,29	
	0,25	0,24	0,21	0,27	120	0,26	0,38	0,30	0,88	
20	0,10	0,09	0,02	0,06	10	0,06	0,05	0,06	0,04	85
	0,15	0,12	0,04	0,09	20	0,07	0,08	0,10	0,08	
	0,21	0,17	0,11	0,16	40	0,13	0,17	0,19	0,24	
	0,26	0,29	0,13	0,19	60	0,15	0,21	0,20	0,35	
	0,37	0,30	0,21	0,38	120	0,25	0,43	0,75	1,14	

Tabela 5

Wpływ stężenia i temperatury kwasów organicznych na rozpuszczalność żelaza

Kwas	Stężenie kwasu w %	Temperatura w °C				Czas zanurzenia w min.	Temperatura w °C				Stężenie kwasu
		20	40	50	60		20	40	50	60	
		straty Fe w % wag					straty Fe w % wag				
Mrówkowy	10	0,04	0,04	0,03	—	30	0,00	0,05	0,03	—	20
		0,06	0,05	0,07	—	60	0,06	0,07	0,07	—	
		0,08	0,07	0,11	—	90	0,09	0,09	0,11	—	
		0,14	0,08	0,14	—	150	0,13	0,11	0,15	—	
Mrówkowy	40	0,05	0,03	0,02	—	30	0,05	0,05	0,03	—	60
		0,06	0,04	0,05	—	60	0,22	0,05	0,07	—	
		0,06	0,04	0,05	—	90	0,25	0,08	0,12	—	
		0,09	0,06	0,12	—	150	0,36	0,09	0,19	—	
Mrówkowy	85	0,15	0,04	0,03	—	30					
		0,59	0,07	0,07	—	60					
		0,63	0,09	0,12	—	90					
		0,71	0,11	0,15	—	150					
Szczeniowy	10	0,00	—	—	—	36					
		0,01	—	—	—	60					
		0,01	—	—	—	90					
		0,01	—	—	—	150					
Cytrynowy	10	0,02	0,00	0,00	0,00	30	0,01	0,01	0,00	0,01	20
		0,05	0,03	0,01	0,03	60	0,01	0,03	0,01	0,02	
		0,06	0,03	0,02	0,04	90	0,01	0,04	0,02	0,03	
		0,08	0,05	0,02	0,05	150	0,01	0,05	0,02	0,05	
	30	0,01	0,02	0,01	0,03	30					
		0,01	0,02	0,01	0,05	60					
		0,01	0,05	0,03	0,07	90					
		0,01	0,07	0,04	0,08	150					
Winowy	10	0,08	0,01	0,00	0,00	30	0,01	0,00	0,01	0,02	20
		0,13	0,03	0,02	0,03	60	0,01	0,02	0,02	0,02	
		0,16	0,05	0,07	0,04	90	0,02	0,05	0,03	0,06	
		0,19	0,07	0,09	0,95	150	0,03	0,08	0,04	0,07	
	30	0,01	0,10	0,02	0,03	30					
		0,01	0,17	0,04	0,03	60					
		0,01	0,18	0,07	0,08	90					
		0,01	0,22	0,09	0,09	150					

groskopijne kwaśne fosforany jedno i dwuzasadowe stanowiące nie trwałe powłoki ¹⁵.

¹⁵ Ibid.

K w a s y o r g a n i c z n e

Do badań wzięto kwasy: mrówkowy, szczawiowy, cytrynowy, winowy. Działanie roztwórcze tych kwasów jest znacznie wolniejsze aniżeli kwasów mineralnych. Zasadniczy wpływ na to mają ich niskie stałe dysocjacji. Wraz ze wzrostem temperatury kwasów wzrasta rozpuszczalność żelaza. Po dłuższym okresie działania kwasu szczawiowego na żelazo na powierzchni metalu powstaje żółtawy osad. Osad ten stanowią kryształy szczawianu żelazawego, które nie rozpuszczają się w wodzie. Chcąc usunąć powstałą warstewkę musimy żelazo zanurzyć w roztworze kwasu mineralnego, w którym szczawian żelazowy ulega rozkładowi¹⁶.

Badania związane z ilościowym oznaczaniem rozpuszczania żelaza w kwasach o różnych stężeniach i różnych temperaturach stanowiły pierwszy etap podjętej pracy. W drugim etapie przeprowadzono analogiczne oznaczenia (przy tych samych stężeniach kwasów i temperaturach 20°C i 50°C) z tym, iż do kwasów dodawano substancji powstrzymujących rozpuszczanie żelaza.

BADANIA NAD OZNACZENIEM WPŁYWU INHIBITORÓW NA
POWSTRZYMANIE ROZTWARZANIA ŻELAZA W KĄPIELACH
OCZYSZCZAJĄCYCH

W badaniach stosowano inhibitory nieorganiczne i organiczne (podane na s. 000 ? art.). Przy oznaczeniach tych zwracano uwagę na następujące problemy:

- stopień powstrzymania rozkładu żelaza przez inhibitor;
- rozkład inhibitora w trakcie kąpeli (w uzależnieniu od czasu trwania kąpeli i temperatury);
- powstawanie plam na powierzchni metalu.

Badania z substancjami inhibitującymi prowadzono dla kwasów: solnego, siarkowego, o-fosforowego. Kwasy organiczne wyłączono z dalszych badań ponieważ działanie ich w kierunku usuwania produktów jest minimalne. Do kąpeli dodawano inhibitora w granicach od 0,25 do 5%. Celem podniesienia stopnia zwilżalności powierzchni skorodowanej próbki do kąpeli dodawano również alkohole (etylowy, butylowy, izopropylowy).

K w a s s o l n y

Do badań z inhibitorami stosowano roztwory: 5%, 10%, 15% i 17,5% przy temperaturach: 20°C i 50°C. Zgodnie z poprzednimi badaniami parametry powyższe okazały się najkorzystniejsze do prowadzenia kąpeli oczyszczającej. Ponadto przeprowadzono badania „odrdzewiacza” proponowanego przez K. Pajewskiego¹⁷ (stosowany przez przemysł) o składzie:

¹⁶ J. Supniewski, *Preparatyka nieorganiczna*, Warszawa 1958, s. 599.

¹⁷ K. Pajewski, *Walka z korozją metali*, Warszawa 1962, s. 157—159.

Tabela 6

Wpływ inhibitorów na powstrzymanie rozpuszczania żelaza w roztworach kwasu solnego

Lp.	Skład kąpieli oczyszczającej	Temp. w °C		Czas zanurzenia próbek w min.	Temp. w °C		Skład kąpieli oczyszczającej	Lp.
		20	50		20	50		
		straty Fe w %			straty Fe w %			
1	10% kwas solny inhibitor: 0,25% trójtlenek arsenu	0,00	0,00	5	0,00	0,01	15% kwas solny inhibitor: 1,5% żelatyna	5
		0,00	0,00	10	0,00	0,01		
		0,00	0,00	15	0,00	0,02		
		0,00	0,01	30	0,01	0,05		
		0,00	0,02	60	0,01	0,15		
2	17,5% kwas solny siarczan miedzi 100 : 0,0016	0,00	0,02	5	0,00	0,02	15% kwas solny 5% mocznik	6
		0,00	0,05	10	0,00	0,05		
		0,01	0,06	15	0,00	0,10		
		0,01	0,09	30	0,00	0,27		
		0,03	0,20	60	0,01	0,60		
3	15% kwas 0,5% chlorek cy- nawy (1 : 4)	0,00	0,00	5	0,00	0,01	5% kwas 1,5% hydro- chinon	7
		0,00	0,01	10	0,00	0,02		
		0,00	0,01	15	0,00	0,02		
		0,00	0,02	30	0,00	0,04		
		0,01	0,04	60	0,01	0,07		
4	10% kwas 1,5% chlorowodorek dwuetyloaminy	0,00	0,01	5	0,00	0,01	10% kwas 1,5% dwumetylo- sulfotlenek	8
		0,00	0,02	10	0,00	0,02		
		0,00	0,03	15	0,00	0,03		
		0,00	0,04	30	0,01	0,07		
		0,01	0,09	60	0,02	0,20		
10	15% kwas 8-o-chinolina 4%	0,00	0,03	5	0,05	0,00	15% kwas 1% chlorek anty- monu	9
		0,00	0,03	10	0,11	0,01		
		0,00	0,04	15	0,16	0,01		
		0,01	0,08	30	0,26	0,01		
		0,02	0,15	60	0,36	0,01		

17,5% HCl, siarczan miedzi w stosunku 100 : 0,0016. Wyniki przeprowadzonych badań ilustruje tab. 6.

Najlepsze rezultaty powstrzymania rozkładu żelaza w kwasie solnym osiągnięto dla trójtlenku arsenu, formaliny, chlorku cynawego oraz chlorowodoru dwuetyloaminy (poz. 1, 3, 4 w tab. 6). Oczyszczone powierzchnie żelaza nie wykazywały śladów przetrawień. Pozostałe inhibitory powstrzymywały rozkład metalu w temperaturze 20°C, natomiast przy 50°C ulegają częściowemu rozkładowi i nie powstrzymują rozpuszczania żelaza. Zaznaczyć należy, iż stosowanie odrdzewiaczy opartych na kwasie solnym, pomimo bardzo szybkich efektów oczyszczających powodować może powstawanie nadtrawień.

Kwas siarkowy

Poprzednie badania (szybkość usuwania produktów korozji, rozpuszczalność metalu) pozwoliły na określenie warunków dla kąpeli oczyszczających opartych na tym kwasie. Zgodnie z nimi stosowano roztwory 10%, 15% i 20% kwasu w temperaturach 20°C i 50°C. Ponadto przeprowadzono oczyszczanie próbek w roztworach 40% i 60% kwasu w mieszaninie z ropą w emulsji. Emulsję ropy sporządzono w następujący sposób: 200 ml 3% alkoholu poliwinylowego emulgowanego z 200 ml ropy, z tak przygotowanej emulsji dodawano 50 ml do roztworów kwasu. Wyniki

Tabela 7

Rozpuszczanie żelaza w kąpielach odrdzewiających opartych na kwasie siarkowym w zależności od temperatury i czasu prowadzenia kąpeli

Lp.	Skład kąpeli	Temperatura		Czas zanurzenia płytki w min.	Temperatura		Skład kąpeli	Lp.
		20 °C	50 °C		20 °C	50 °C		
		straty Fe %			straty Fe %			
1	10% kwas siarkowy inhibitor: 1% dwumetylo-sulfotlenek	0,01	0,00	10	0,02	—	60% kwas siarkowy inhibitor: ropa w emulsji	6
		0,02	0,00	20	0,03	—		
		0,02	0,01	40	0,04	—		
		0,02	0,02	60	0,05	—		
		0,03	0,04	120	0,08	—		
2	15% kwas siarkowy inhibitor: 1% LH-13	0,06	0,01	10	0,02	0,01	10% kwas siarkowy inhibitor: 1% hydrochinon	7
		0,08	0,04	20	0,03	0,01		
		0,11	0,04	40	0,04	0,04		
		0,10	0,07	60	0,05	0,04		
		0,15	0,07	120	0,05	0,08		
3	10% kwas siarkowy inhibitor: 1% urotropina	0,01	0,01	10	0,00	0,00	15% kwas siarkowy inhibitor:	8
		0,02	0,02	20	0,00	0,00		
		0,02	0,05	40	0,01	0,03		
		0,03	0,07	60	0,01	0,04		
		0,03	0,10	120	0,02	0,08		
4	20% kwas siarkowy inhibitor: 1% chlorek cyjanawy	0,06	0,07	10	0,00	0,05	15% kwas siarkowy inhibitor: 1% 8-o-chinolina	9
		0,10	0,16	20	0,00	0,07		
		0,17	0,35	40	0,01	0,10		
		0,27	0,66	60	0,01	0,10		
		0,40	0,66	120	0,01	0,19		
5	15% kwas siarkowy inhibitor: 1% chlorek antymonu	0,04	0,00	10	0,04	—	40% kwas siarkowy inhibitor: ropa w emulsji	10
		0,04	0,00	20	0,06	—		
		0,05	0,00	40	0,08	—		
		0,06	0,00	60	0,10	—		
		0,06	0,00	120	0,12	—		

przeprowadzonych prób oczyszczania żelaza w kwasie siarkowym z inhibitorami zebrano w tab. 7.

W temperaturze 20°C najlepiej powstrzymywały rozpuszczanie żelaza inhibitory: dwumetylosulfotlenek, urotropina, chlorowoderek dwuetyloaminy. Dla kąpeli oczyszczających prowadzonych w temperaturze 50°C dobrymi inhibitorami są: dwumetylosulfotlenek, inhibitor LH-13, chlorek antymonu. Również kompozycje „odrdzewiaczy” opartych na ropie powstrzymują rozpuszczanie żelaza. Celem wyeliminowania możliwości powstawania korozji międzykrystalicznej w kompozycjach tych należy stosować kwas o stężeniu nie wyższym niż 30%.

K w a s o - f o s f o r o w y

W porównaniu z kwasem solnym oraz siarkowym odznacza się on powolnym działaniem na żelazo (brak śladów nadtrawień na powierzchni). Ponadto powstawanie powłok fosforanowych na powierzchni metalu — to dalsza zaleta w stosowaniu tego kwasu. Badania z inhibitorami przeprowadzono z kwasem o stężeniach: 10%, 15%, 20% i 30%, przy temperaturach 20°C i 50°C.

Dla tego kwasu najlepszymi inhibitorami są: chlorek cynawy, hydrochinon, dwumetylosulfotlenek, chlorowoderek dwuetyloaminy, chlorek antymonu. Zaznaczyć należy, iż tak jak i przy poprzednich kwasach, inhibitory najskuteczniej powstrzymują rozkład żelaza w kąpielach o temperaturze 20°C.

Przeprowadzone badania nad oczyszczaniem skorodowanych próbek żelaza, określeniem rozpuszczalności żelaza w roztworach czystych kwasów oraz udziałem inhibitorów w powstrzymywaniu jego roztwarzania pozwoliły na wyodrębnienie najkorzystniejszych kompozycji kąpeli oczyszczających, które podano w tab. 9 z określeniem parametrów ich stosowania.

ZABIEGI PO OCZYSZCZENIU POWIERZCHNI ŻELAZA Z PRODUKTÓW KOROZJI

Istotnym problemem przy oczyszczaniu obiektów żelaznych metodą chemiczną jest odpowiednie przygotowanie powierzchni metalu po usunięciu produktów korozji. Wiadomo, iż niedokładne wypłukanie resztek kwasów, pozostawienie szkodliwych soli, brak odtłuszczenia powierzchni wywoływać mogą zjawisko korozji wtórnej prowadzące do ponownego niszczenia obiektu. Często długie płukania nawet w zmiennych kąpielach woda bieżąca — woda destylowana nie prowadzą do całkowitego usunięcia kwasów, występuje to szczególnie przy obiektach o złożonych kształtach (nitowania, załamania, połączenia itp.). Ogólnie zabiegi konieczne do przeprowadzenia po oczyszczeniu dzielimy:

Tabela 8

Wpływ inhibitorów na powstrzymanie rozpuszczania żelaza w roztworach kwasu o-fosforowego

Lp.	Skład kąpiele	Tempera- tura		Czas zanurzenia w min.	Tempera- tura		Skład kąpiele	Lp.
		20 °C	50 °C		20 °C	50 °C		
		straty Fe w %			straty Fe w %			
1	15% kwas alkohol izopropylowy tyloza 1%	0,00	0,00	10	0,00	0,00	10% kwas 0,5% chlorek cy- nawy	7
		0,02	0,00	20	0,01	0,00		
		0,03	0,03	40	0,02	0,01		
		0,04	0,05	60	0,02	0,01		
		0,04	0,10	120	0,02	0,02		
2	20% kwas alk. butylowy 1% chydrochinon	0,00	0,00	10	0,01	0,00	20% kwas 1% chlorowodo- rek dwuetylo- aminy	8
		0,03	0,00	20	0,01	0,00		
		0,03	0,01	40	0,02	0,01		
		0,04	0,02	60	0,02	0,02		
		0,04	0,03	120	0,03	0,05		
3	10% kwas 1% chlorek anty- monu	0,00	0,01	10	0,00	0,00	15% kwas 3% 8-o-chinolina	9
		0,01	0,01	20	0,01	0,00		
		0,02	0,02	40	0,02	0,04		
		0,02	0,04	60	0,03	0,07		
		0,02	0,07	120	0,03	0,13		
4	20% kwas 1,5% żelatyna	0,00	0,00	10	0,01	0,02	10% kwas formalina (10 : 1)	10
		0,01	0,00	20	0,01	0,02		
		0,01	0,03	40	0,02	0,07		
		0,02	0,04	60	0,03	0,10		
		0,02	0,07	120	0,05	0,16		
5	30% kwas 1% dwumetylo- sulfotlenek	0,01	0,00	10	0,00	0,01	30% kwas 3% mocznik	11
		0,03	0,00	20	0,01	0,01		
		0,05	0,00	40	0,02	0,06		
		0,06	0,01	60	0,02	0,09		
		0,06	0,04	120	0,03	0,17		
6	15% kwas 1% urotropina	0,01	0,03	10	0,00	0,00	30% kwas 1 cz. alk. etylo- wy 2 cz., 1% hydrochinon	12
		0,02	0,06	20	0,00	0,00		
		0,02	0,12	40	0,01	0,01		
		0,03	0,17	60	0,01	0,01		
		0,04	0,23	120	0,01	0,02		

- kąpiele usuwające resztki kwasów;
- kąpiele zobojętniające;
- odsalanie obiektu (następuje w trakcie kąpiele);
- odłuszczenie, suszenie.

Tabela 9

Kąpiele odrdzewiające oparte na roztworach kwasów nieorganicznych

Lp.	Skład kąpieli oczyszczającej	Temperatura robocza kąpieli w °C	Czas usunięcia produktów korozji w min.	Strata żelaza w kwa- sach w % wag	Strata żelaza w kąpieli w % wag	Stan powierzchni po oczysz- czeniu
1	10% kwas solny inhibitor: 0,25% trójtlenek arsenu	20	30	0,31	0,00	bez plam
		50	12	0,10	0,00	nadtraw. bez plam
2	15% kwas solny, for- maldehyd (4 : 1) inhibitor: 0,5% chlorek cynawy	20	19	0,33	0,00	bez plam nadtrawie- nia
		50	10	0,04	0,01	
3	15% kwas siarkowy inhibitor: 1,5% żelatyna	20	19	0,33	0,00	bez plam
		50	—	—	—	
4	10% kwas siarkowy inhibitor: 1% dwumetylosulfotie- nek	20	60	0,13	0,02	bez plam
		50	15	0,03	0,00	bez plam
5	15% kwas siarkowy inhibitor: LH-13	20	—	—	—	—
		50	10	0,07	0,01	bez plam
6	10% kwas siarkowy inhibitor: 1% chlorek antymonu	20	25	0,17	0,04	bez plam
		50	10	0,07	0,00	bez plam
7	10% kwas o-fosforowy inhibitor: chlorowodo- rek 1% dwuetyloaminy	20	45	0,21	0,02	bez plam warstwa fosforanów
		15	15	0,09	0,00	
8	10% kwas o-fosforowy inhibitor: 0,5% chlorek cynawy	20	80	0,16	0,02	bez plam warstwa fosforanów
		50	20	0,06	0,00	
9	15% kwas o-fosforowy alkohol izopropylowy (2 : 1) inhibitor: 1% tyloza	20	80	0,17	0,04	„
10	15% kwas o-fosforowy inhibitor: 1% urotropina	20	80	0,17	0,03	„
11	20% kwas o-fosforowy alkohol etylowy, buty- lowy (5 : 1 : 0,25) inhibitor: 1% hydrochi- non	20	45	0,21	0,03	„
		50	11	0,09	0,00	„
12	30% kwas o-fosforowy alkohol etylowy (1 : 2) inhibitor: 1% hydrochi- non	20	17	0,08	0,00	„
		50	11	0,01	0,00	„

WNIOSKI

Przeprowadzono trzy zasadnicze etapy badań nad zastosowaniem kąpeli chemicznych do usuwania produktów korozji (rdzy) z powierzchni żelaza:

1) Określenie czasu usuwania produktów korozji przez roztwory kwasów o różnych stężeniach i różnych temperaturach.

2) Określenie rozpuszczalności żelaza (roztwarzania) w kwasach w zależności od stężenia, temperatury i czasu zanurzenia próbki.

3) Analizowanie wpływu inhibitorów organicznych i nieorganicznych na powstrzymanie rozpuszczalności żelaza i wywoływanie plam na oczyszczonej powierzchni.

Badania powyższe pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- kąpiele chemiczne stosować możemy tylko przy usuwaniu nawarstwień korozyjnych tworzących tzw. świeżą rdzę, a więc o minimalnych grubościach, przy intensywnym wspomaganii ich zabiegami mechanicznymi;
- analizowanie kwasów nieorganicznych i organicznych pozwala stwierdzić, iż najlepszy do kąpeli oczyszczających jest kwas o-fosforowy. Powolne działanie kwasu na żelazo, powstawanie warstw ochronnych fosforanów, to główne zalety w stosowaniu tego kwasu. Kąpiele oparte na tym kwasie mogą być stosowane w temperaturach 20°C lub 50°C przy stężeniu kwasu od 10% do 35% (maximum);
- oczyszczanie żelaza w roztworach kwasu o-fosforowego musi być prowadzone z inhibitorami powstrzymującymi rozpuszczanie metalu;
- przeprowadzone badania wykazały, iż najlepszymi inhibitorami są: trójtlenek arsenu (ze względu na bardzo trujące własności tego związku należy go wyłączyć z prac), chlorek cynawy, chlorek antymonu, dwumetylosulfotlenek, hydrochinon, urotropina, tyloza;
- wymienione inhibitory nie wywołują plam na powierzchni oczyszczonego metalu, jak również nie ulegają rozkładowi w temperaturach od 20°C do 50°C;
- badania z kwasem solnym oraz siarkowym potwierdziły ich znaczną agresywność (szczególnie kwas solny);
- kwasy organiczne w sposób minimalny wpływają na szybkość usuwania produktów korozji nawet przy stosowaniu wysokich stężeń i podwyższonej temperatury.

Tak więc przeprowadzone badania nie rozwiązują problemu usuwania produktów korozji z zabytkowych obiektów żelaznych. Metody chemiczne, obok zalet (wyływających z łatwości ich stosowania) wykazują wiele cech negatywnych, z których do najistotniejszych należą:

- poprzez kąpiele nie można usunąć zastarzałych warstw korozyjnych,

- a więc nie można przy ich pomocy oczyszczać obiektów archeologicznych;
- traktowanie obiektów w kąpielach „odrdzewiających” wspomagane musi być intensywnymi zabiegami mechanicznymi, które powodować mogą zniszczenia i uszkodzenia przedmiotu oczyszczanego;
 - metody tej nie można stosować przy obiektach łączonych z innymi metalami lub materiałami (metale szlachetne, papier, tkanina, skóra, drewno);
 - duże rozmiary obiektów żelaznych (kraty, płyty, okucia, elementy architektoniczne) eliminują stosowanie kąpeli odrdzewiających;
 - trudność wmywania (wypłukiwania) resztek kwasów (inicjujących wtórne procesy korozyjne) z obiektów o złożonych kształtach (nitocych na powierzchni metalu).

Przedstawiona praca stanowi wąski wycinek badań nad zastosowaniem metod chemicznych do oczyszczania zabytkowych obiektów żelaznych.

Janusz Krause

RECHERCHES SUR LE NETTOYAGE DES OBJETS-RELIQUES EN FER À L'AIDE DE LA MÉTHODE CHIMIQUE

(Résumé)

Dans cet ouvrage on a étudié l'activité des acides organiques et non-organiques en relation à l'éloignement des superpositions corrosives et du métal propre. On analysé une série de substances arrêtautes quant' à leur utilité pour arrêter la solution de fer dans les bains „déroutillants”.

La méthode chimique pour enlever les superpositions par les bains „déroutillants” à côté des mérites (dus à la facilité de leur application) montre beaucoup de traits caractéristiques négatifs dont les plus essentiels sont:

— par les bains on ne peut pas éloigner les vieilles superpositions de la rouille sans menace de la lésion de la moelle métallique;

— on ne peut employer cette méthode pour les objets liés à d'autres métaux ou à d'autres matières;

— l'application des méthodes chimiques doit être liée très strictement aux démarches neutralisantes, éloignantes les restes d'acides de la surface des objets traités.

La problématique de cet article est l'introduction aux recherches plus approfondies liées à l'étude des manières et des paramètres indispensables pendant le nettoyage chimique des surfaces de fer corrosives.