

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ TƏHSİL
PROBLEMLƏRİ İNSİTİTUTU
AZƏRBAYCAN MEMARLIQ VƏ İNŞAAT UNİVERSİTETİ

V.İ.Əhmədov

METAL VƏ ƏRİNTİLƏRİN ELEKTRİK XASSƏLƏRİNİN
FİZİKİ TƏDQIQAT METODLARI

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi
Elmi-Metodiki Şurasının “Fizika” bölməsinin
“10. 04” 2007- ci il tarixli iclasının qərarı ilə
(Protokol № 23) təsdiq edilmişdir.

Bakı – 2007

UOT 669.53.075.8. + 669.017.3.001.2.

Elmi redaktor: Azərbaycan Memarlıq və İnşaat
Universiteti “Fizika” kafedrasının müdiri,
f.r.e.d., professor T.M.Pənahov

Rəy verənlər: Azərbaycan Texniki Universiteti
“Elektronika” kafedrasının dosenti,
f.r.e.n., Z.S.Musayev

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat
Universiteti “Fizika” kafedrasının dosenti,
f.r.e.n., İ.İ.Əlizadə

X Ü L A S Ə

Metodik göstəriş metal və ərintilərin elektrik xassələrinin öyrənilməsinə və elektrik müqavimətinin ölçülməsi metodlarına həsr edilmişdir. Bu üsul metal və ərintilərdə faza çevrilmələrini, incə quruluş qüsurlarını, konsentrasiya asılılıqlarını dəqiqliklə öyrənməyə imkan verir. Metodik göstərişdə, baş verən fiziki hadisələrin düzgün başa düşülməsi üçün nəzəri məlumat və izahat da verilmişdir.

Metodik göstərişdə, metallofiziki tədqiqatlar zamanı geniş tətbiq edilən voltmetr-ampermetr, körpü, kompensasiya və elektrik müqavimətinin kontaktsiz ölçülməsi metodlarının müxtəlif variantlarına baxılmışdır.

Metodik göstərişdə, həmçinin öyrənilən nümunələrin ölçüləri, forması, metodun həssaslığı haqqında məlumat verilmiş, ölçmə zamanı istifadə edilən qurğuların prinsipial sxemləri təsvir edilmiş və izahat verilmişdir.

Metodik göstəriş ali təhsilin bakalavr pilləsində metalşünaslıq və metallar fizikası ixtisası üzrə təhsil alan tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur.

MÜNDƏRİCAT

səh

Giriş-----	5
1.Xüsusi elektrik müqaviməti haqqında ümumi məlumat-----	6
2.Elektrik müqavimətinin ölçülməsi metodları-----	10
2.1. Voltmetr-ampermetr metodu-----	11
2.2. Elektrik müqavimətinin ölçülməsinin körpü metodları-----	15
2.3. Kompensasiya metodu-----	20
2.4. Kontaktsiz metodla elektrik müqavimətinin ölçülməsi-----	26
3. Metallik ərintilərin elektrik müqavimətinin öyrənilməsi-----	29
3.1. Bərk məhlulların elektrik müqavimətinin konsentrasiyadan və deformasiyadan asılılığının öyrənilməsi-----	29
3.2. Heterogen ərintilərin elektrik müqavimətinin quruluşdan asılılığının öyrənilməsi -----	37
4. Rezistometriyanın metallofiziki tədqiqatlarda tətbiqi-----	41
5. Ədəbiyyat-----	48

Giriş

Materialların fiziki tədqiqat metodlarının əsasını emal və ya hər hansı digər təsir (termik, mexaniki və s.) nəticəsində metal və ərintilərdə baş verən proseslərlə fiziki xassələrin dəyişməsi arasındakı qarşılıqlı əlaqə təşkil edir.

Böyük həssaslığa malik olan elektrik ölçmə metodları metal və ərintilərdə faza çevrilmələrinin, incə quruluş qüsurlarının, konsentrasiya asılılıqlarının və bir çox digər hadisələrin öyrənilməsi zamanı geniş tətbiq olunur.

Matissen, Foqta və Fleminqanın işlərindən başlayaraq xüsusilə, N.S. Kurnakov məktəbinin klassik tədqiqatlarından sonra elektrik müqavimətinin ölçülməsi müasir metalşunaslıq laboratoriyalarının eksperimental texnikasına möhkəm daxil oldu. Həmçinin, elektrik keçiriciliyinin təyin edilməsi ilə bağlı çox sayda işlər bərk cisimlər fizikası problemlərinin və metalşunaslıq məsələlərinin həllinə həsr olunmuşdur. Bu baxımdan metal və ərintilərin elektrik xassələrinin fiziki tədqiqat metodlarının öyrənilməsi və tədrisi olduqca aktualdır.

Metodik göstərişdə metallofiziki tədqiqatlar zamanı geniş tətbiq edilən voltmetr-ampermetr, körpü, kompensasiya və elektrik müqavimətinin kontaktsiz ölçülməsi metodlarının müxtəlif variantlarına baxılmışdır.

Vəsaitdə metallik ərintilərin elektrik müqaviməti haqqında məlumatla yanaşı, rezistometriyanın metallofiziki tədqiqatlarda tətbiqinə dair bir neçə nümunə də verilmişdir.

Metodik göstərişdə polad və ərintilərin çeşidlənməsi və defektskopiya məsələlərinin həlli zamanı geniş tətbiq edilən ixtiyari

formalı və qeyri məhdud böyük ölçülü nümunələrin xüsusi elektrik müqavimətini qiymətləndirməyə imkan verən transformator və burulğanlı cərəyanlar metodu haqqında da ətraflı məlumat verilmişdir.

Metodik göstərişdə həmçinin, öyrənilən nümunələrin ölçüləri, forması, metodun həssaslığı haqqında məlumat verilmiş, ölçmə zamanı istifadə edilən qurğuların prinsipial sxemləri təsvir edilmiş və izahat verilmişdir

Bu metodik göstəriş, AzMİU-nun “Materiallar fizikası” (metallik materiallar) ixtisasında təhsil alan bakalavrlara tədris edilən “Fiziki tədqiqat metodları” fənninin tədris proqramına uyğun hazırlanmışdır.

1.XÜSUSİ ELEKTRİK MÜQAVİMƏTİ HAQQINDA ÜMUMİ MƏLUMAT

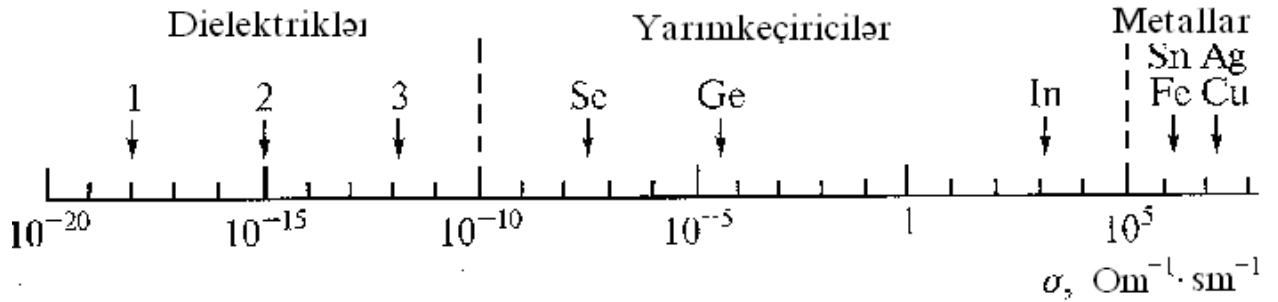
Maddənin elektrik xassəsi, xüsusi elektrik müqaviməti və ya xüsusi elektrik keçiriciliyinin qiyməti ilə xarakterizə olunur. Silindirik formalı naqilin xüsusi müqaviməti aşağıdakı ifadədən təyin olunur:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

burada R-naqilin müqaviməti, l -onun uzunluğu, S -en kəsiyinin sahəsi, ρ -xüsusi müqavimətidir. R-müqaviməti Om qanununda gərginliklə cərəyan şiddəti arasında sturuktura həssas mütənasiblik əmsalıdır. Xüsusi elektirik müqaviməti nümunənin ölçülərindən asılı olmayıb, onun kimyəvi tərkibi və atom kristallik quruluşdan makroqüruluşa qədər bütün səviyyələrdə quruluş ilə təyin edilir. Xüsusi elektrik keçiriciliyi σ

- xüsusi elektrik müqavimətinin tərs qiymətidir ($\sigma = \frac{1}{\rho}$).

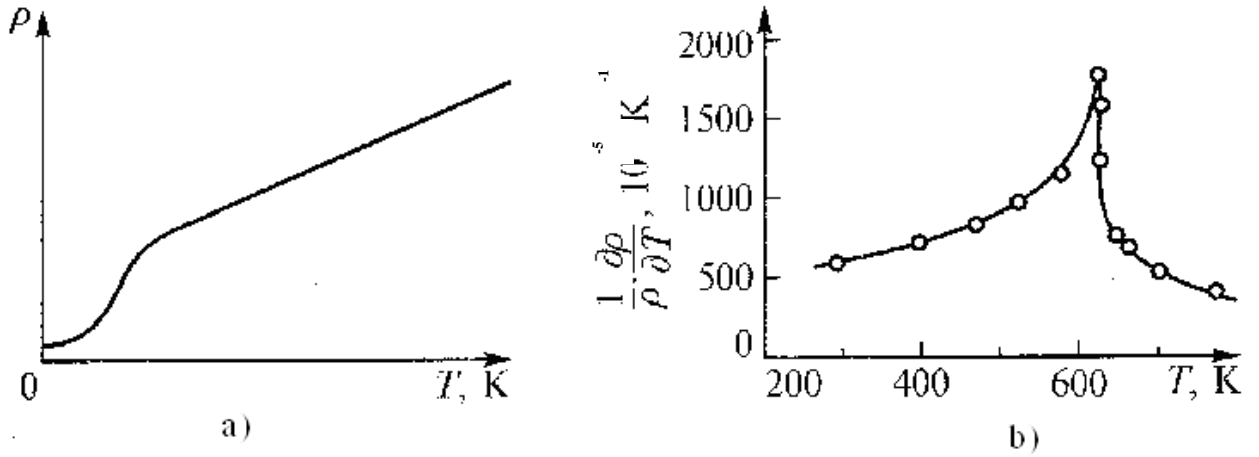
Xüsusi elektrik keçiriciliyinin qiymətindən asılı olaraq bərk cismlər üç qrupa bölünürlər: dielektriklər, yarımkeçiricilər və metallar (şəkil 1).



Şəkil 1. 20°C-də bərk cismlərin elektrik keçiriciliyinə görə təsnifatı:
1-almaz, 2-slyuda, 3-polietilin.

Xüsusi müqavimət temperaturdan əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır(şəkil 2).

Mütləq sıfırdan bir neçə dərəcə yuxarı temperaturlarda metalların müqaviməti praktiki olaraq temperaturdan asılı olmayıb aşqarlar və qəfəsin qüsurları ilə təyin edilərək, qalıq müqaviməti ρ_0 adlanır. Temperatur yüksəldikcə qəfəsin istilik rəqsləri meydana gəlir və güclənir. Bir çox metalların müqaviməti qəfəsin tipindən və valentliyindən asılı olmayaraq temperaturun beşinci dərəcəsi ilə (T^5) mütənasib olaraq artır.



Şəkil 2. Nikelin elektrik müqavimətinin temperatur əmsalının temperaturdan asılılığı.

Keçid metallarının böyük hissəsinin müqaviməti aşağı temperaturlarda T^n -ə mütənasib olaraq dəyişir, burada $n=2,0-5,3$. $(0,1-1)\theta_D$ -dan yuxarı temperaturlarda (θ_D -Debay temperaturudur) müqavimət temperatura mütənasib olaraq artır:

$$\rho_{t_2} = \rho_{t_1} [1 + \bar{\alpha}_\rho (t_2 - t_1)] \quad (2)$$

Burada ρ_{t_1}, ρ_{t_2} -uyğun olaraq t_1 və t_2 temperaturlarında xüsusi müqavimət; $\bar{\alpha}_\rho$ -(t_1-t_2) intervalında xüsusi elektrik müqavimətinin temperatur əmsalının orta qiymətidir.

Buradan

$$\bar{\alpha}_\rho = \frac{\rho_{t_2} - \rho_{t_1}}{\rho_{t_1} (t_2 - t_1)} \quad (3)$$

Xüsusi elektrik müqavimətinin həqiqi temperatur əmsalı

$$\alpha_{\rho} = \frac{d\rho}{dt} \cdot \frac{1}{\rho_t} \quad (4)$$

Metal və ərintilərin xüsusi elektrik müqavimətinin temperatur əmsalını ölçərəkən, nümunənin istidən genişlənməsini nəzərə almaq zəruridir:

$$\bar{\alpha}_{\rho} = \bar{\alpha}_R + \bar{\alpha}(1 + \Delta t \bar{\alpha}_R) \quad (5)$$

Burada $\bar{\alpha}_R$ -nümunənin ümumi elektrik müqavimətinin orta temperatur əmsalı; $\bar{\alpha} - \bar{\alpha}_{\rho}$ -nin təyin olunduğu Δt temperatur intervalında orta xətti genişlənmə əmsalıdır. Elektrik müqavimətinin temperatur əmsalının temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi özünü ferromaqnetiklərdə Küri temperaturu ərafında daha güclü göstərir (şəkil 2).

Plastik deformasiya xüsusi elektrik müqavimətini bir neçə faiz artırır. Deformasiya böyük olduqda volframın elektrik müqaviməti bir neçə on faiz artır. Mattissen qaydasına görə təmiz metalların və aşağı konsentrasiyalı bərk məhlulların xüsusi elektrik müqaviməti aşağıdakı şəkildə verilə bilər:

$$\rho = \rho_0 + \rho_t \quad (6)$$

burada ρ_t - müqavimətin temperaturdan asılı olan hissədir. Qalıq müqaviməti ρ_0 temperaturdan asılı deyil. Ferromaqnit metallarda atom maqnit momentləri sisteminin rəqsləri elektronların əlavə səpilməsinə səbəb olur ki, bunu da xüsusi müqavimətin (6) qiymətinə ρ_m həddini əlavə etməklə nəzərə alırlar:

$$\rho = \rho_0 + \rho_t + \rho_m \quad (7)$$

Güman edilir ki, plastik deformasiya zamanı müqavimətin artması, kristallik qəfəsin təhrif olunması nəticəsində ρ_0 -in artması ilə bağlıdır. Deyilənlərdən aydın olur ki, temperatur azaldıqda ρ_0 -in payı artır. Buna görə də plastik deformasiyanın xüsusi elektrik müqavimətinə təsirini mümkün olduqca aşağı temperaturalarda öyrənmək lazımdır.

Bir halda ki, müqavimət aşqarların olması və kristallik qəfəsin qüsurlarından asılıdır, onda axrincının sıxlığını artıran istənilən təsir ρ_0 -i artırır. Bu cür təsirlərə plastik deformasiyadan əlavə faza pərçimlənməsi; yüksək temperaturdan tablama; yüksək enerjili hissəciklərlə şüalanma da aiddir. [Soyuq, yəni $(0,15-0,12)T_{erime}$ -dən aşağı temperaturalarda deformasiya dərəcəsi artdıqca, deformasiyaya müqaviməti xarakterizə edən xassələr (bərklik) güclənir, plastik deformasiya qabiliyyəti (plastiklik) azalır. Bu hadisə pərçimləmə adlanır. Daha yüksək temperaturlara qədər qızma zamanı gözlənilmədən austenit dənənin xırdalanması faktı XX əsrin 40-cı illərində V.D.Sadovski tərəfindən aşkar edilmiş, özü və əməkdaşları tərəfindən öyrənilmişdir. V.D.Sadovski hesab edir ki, martensitin austenitə çevrilməsi, perlitin austenitə çevrilməsinə nəzərən fərqli mexanizmlə baş verir və pərçimləmə ilə müşayiət olunur. Bu isə faza pərçimləməsi adlanır]. Məsələn, platini 1500°C -dən sürətlə soyutduqda (Pt-nin ərimə temperaturu 1773°C -dir) qalıq müqaviməti iki dəfə artır. Yuxarıda adları çəkilmiş təsirlərə məruz qalan təmiz metalların və bəzi ərintilərin tabının alınması elektrik müqavimətini azaldır və hətta rekristallaşma temperaturundan aşağıya qədər qızma zamanı onun tam bərpasına gətirə bilər.

2. Elektrik müqavimətinin ölçülməsi metodları

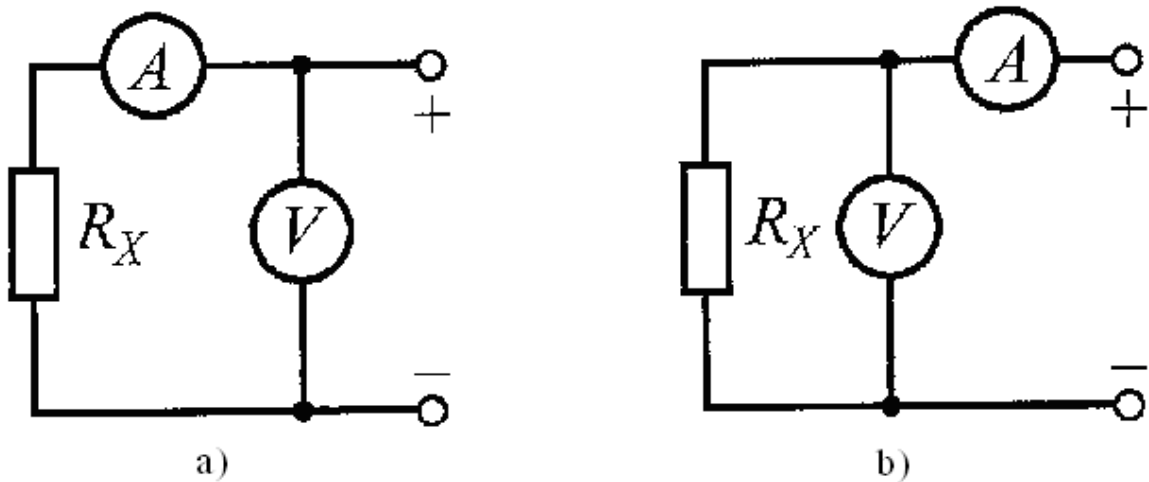
Təcrübi olaraq nümunənin tam və ya ümumi elektrik müqaviməti R təyin edilir, xüsusi elektrik müqavimətinin ρ qiyməti isə (1) ifadəsindən tapılır.

Metallofiziki tədqiqatlarda, əksər hallarda, nümunənin ölçüləri ilə şərtlənən çox kiçik, $10^{-1} - 10^{-3}$ Om tərtibli, elektrik müqavimətlərini ölçmək lazım gəlir. Real imkanlardan asılı olaraq nümunələr məftil, lent və s. şəklində hazırlanır və ya tokar dəzgahlarında yonulur. Adətən nümunələrin uzunluğu 50-100 mm-i aşmır, en kəsiyinin sahəsi isə 1 mm^2 - in hissələrindən tutmuş $15-20 \text{ mm}^2$ qədər intervalda dəyişir. Bununla əlaqədar olaraq elektrik müqavimətinin ölçülməsi metodlarına həssaslığa və dəqiqliyə görə yüksək tələbat qoyulur.

2.1. Voltmetr-ampmetr metodu

Bu ən sadə metod olub, elektrik müqavimətinin sürətlə dəyişməsini yazmaq üçün asanlıqla quraşdırıla bilər.

Metodun iki variantından birində R_x müqavimətli nümunə ampmetrlə ardıcıl qoşulur, voltmetr isə onlardakı gərginlik düşgüsünü ölçür (şəkil 3 a).



Şəkil 3. Voltmetr-Ampermetr metodu ilə müqaviməti ölçən zaman nümunənin və ölçü cihazlarının birləşdirilməsinin prinsipial sxemi.

Əgər I_a və U_v - ampermetrin və voltmetrin göstərişləridirsə, onda nümunənin hiss edilən müqaviməti

$$R'_x = \frac{U_v}{I_a} \quad (8)$$

Aydındır ki, $U_v = I_a R_a + I_a R_x$, burada R_a - ampermetrin daxili müqavimətidir. U_v -nin bu qiymətini (8)-də yerinə yazsaq alarıq:

$$R'_x = R_x + R_a$$

buradan

$$R_x = R'_x - R_a \quad (9)$$

Beləliklə, şəkil 3a-da göstərilmiş sxemdən istifadə etdikdə ampermetrin R_a müqavimətinin qiymətini dəqiq bilmək zəruridir və ya əmin olmaq lazımdır ki, $R_a \ll R_x$. Qeyd etmək lazımdır ki, bu münasibət istənilən halda ödənməlidir.

Metodun digər variantında (şəkil 3.b) voltmetr nümunədəki gərginlik düşgüsünü ölçür, ampermetr isə paralel birləşdirilmiş nümunə və voltmetrdən keçən ümumi cərəyan şiddətini ölçür. Bu halda da hiss edilən müqavimət (8) ifadəsindən təyin edilir. Bir halda ki, voltmetr nümunədəki gərginlik düşgüsünü ölçülür, onda $U_v = U_x = I_x R_x$ -burada I_x -nümunədən keçən cərəyan şiddətidir.

Ampermetrin göstərişi $I_a = I_x + I_v$, buna görə də (8) ifadəsi aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$R'_x = \frac{I_x R_x}{I_x + I_v}$$

burada I_v -voltmetrdən keçən cərəyan şiddətidir. Om qanununa görə

$$I_v = \frac{U_v}{R_v} = \frac{U_x}{R_v} = \frac{I_x R_x}{R_v}. \text{ Buna görə də}$$

$$R'_x = \frac{R_x R_v}{R_x + R_v} \quad (10)$$

Buradan isə

$$R_x = \frac{R'_x R_v}{R_v - R'_x} \quad (11)$$

alarıq. Beləliklə, voltmetrin müqaviməti nümunənin müqavimətindən nə qədər çox olarsa (8) ifadəsindən təyin edilən R'_x hiss edilən qiyməti nümunənin müqavimətinin həqiqi R_x qiymətinə bir o qədər yaxın olar.

Metodun hər iki variantı ilə tədqiqat zamanı birləşdirici məftillərin müqaviməti və kontaktların keçid müqaviməti nəzərə alınmır.

Zamandan və ya temperaturdan asılı olaraq *nümunənin müqavimətinin müntəzəm yazılması* üçün voltmetr və ampermetr maqnetoelektrik qalvanometri və ya şleyf osilloqrafı ilə əvəz edilə bilər.

Maqnetoelektrik osilloqraf kiçik qabaritli güzgülü qalvanometrlərin köməyi ilə sürətlə dəyişən cərəyanların və ya gərginliklərin foto yazısı üçün cihaz olub, kiçik inersiyası ilə fərqlənir. Bu tip osilloqraflar 6-12 qalvanometrlərdən ibarət olub, foto təbəqədə və ya xüsusi rulon fotokağızda uyğun sayda kəmiyyəti eyni zamanda yazmağa imkan verir.

Qalvanometrlərin yüksək cəldliyi onunla şərtlənir ki, onların ölçüləri (korporun diametri 5-6 mm) və hərəkət edən sistemin kütləsi çox kiçikdir. Qalvanometrin çərçivəsi bütün qalvanometrlər üçün ümumi olub, sabit maqnetin qütbləri arasında bərkidilmiş uzun, dar ilgək şəkilli, bir dolaqdan ibarətdir. İlgəyin və ya şleyfin ortasına kiçik güzgü bərkidilmişdir. İlgək güzgü ilə birlikdə sərbəst rəqsləri söndürən dempirləyici mayeyə salınır. Bütün qalvanometrlərin güzgüləri işıq mənbəyindən işıqlandırılır, onlardan əks olunan şüalar uzun silindirik linza tərəfindən bir nöqtədə fokuslanır və fotokağızın və ya fotolövhenin üzərinə düşür. Şüanın hərəkətini osilloqrafın tutqun ekranından görmək olar. Osilloqrafın qalvanometrləri, təhrif olunmadan yazılan dəyişən elektrik cərəyanının maksimal tezliyi ilə xarakterizə olunan həssaslığa və cəldliyinə görə fərqlənirlər. İşçi tezliyin həddü 10 kHs-ə çatır.

Osilloqrafın güzgülü qalvanometrlərini gərginliyə görə, işıq şüasının tutqun şüşə, fotokağız və ya lövhə üzərində meylini etalon voltmetrin göstərişi ilə müqayisə edərək dərəcələyirlər (şəkil 4.a).

Sürətlə dəyşən elektrik müqavimətini yazmaq üçün şəkil. 4.b-də göstərilənə uyğun sxem yığılır.

Q_1 qalvanometrinin U_x göstərişi R_x nümunəsindəki gərginlik düşgüsü ilə, Q_2 qalvanometrinin U_e göstərişi isə, qiyməti yüksək dəqiqliklə məlum olan əlavə R_e rezistorundakı gərginliklə mütənasibdir.

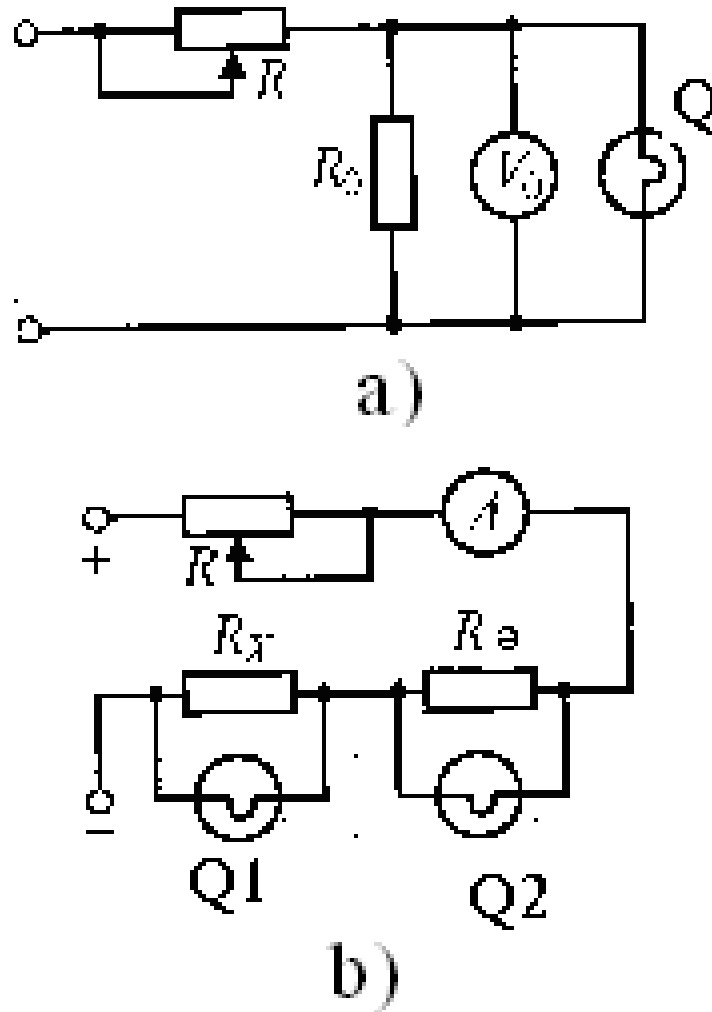
Əgər Q_1 və Q_2 qalvanometrlərindən keçən I_x və I_e cərəyanları R_x və R_e -dən keçən cərəyanlarla müqayisədə nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçikdirsə, onda

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}; I_x = I_e = \frac{U_e}{R_e}; R_x = R_e \cdot \frac{U_x}{U_e} \quad (12)$$

Qeyd edək ki, osilloqrama görə biləvasitə gərginlik deyil, Q_1 və Q_2 qalvanometrlərinin α_1 və α_2 göstərişləri hesablanır. $U_x = k_1 \alpha_1$, $U_e = k_2 \alpha_2$ münasibətini nəzərə alsaq (12) ifadəsi praktiki şəkil alar

$$R_x = R_e \frac{k_1 \alpha_1}{k_2 \alpha_2} = k' R_e \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = k \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (13)$$

Mütənasiblik əmsalları k_1, k_2 və $k = \frac{k_1}{k_2} R_e$ sabiti qalvanometrin dərəcələnməsi zamanı təyin edilir.



Şəkil 4. Qalvanometrin gərginliyə görə dərəcələnməsi sxemi (a) və voltmetr-ampmetr metodu ilə elektrik müqavimətinin müntəzəm yazılışı (b); R -nizamlayıcı reostat; R_o -nümünəvi rezistor; V_o -nümünəvi voltmetr, A -ampmetr, R_x -nümünənin müqaviməti, R_e -əlavə müqavimət, Q_1 və Q_2 -osilloqrafın gərginliyə görə dərəcələnməmiş qalvanometrləridir.

2.2. Elektrik müqavimətinin ölçülməsinin körpü metodları.

Körpü metodları bir neçə tərtib fərqlənən həm kiçik, həm də böyük müqavimətləri ölçmək üçün geniş tətbiq edilir. Sadə (və ya bir qat) və iki qat elektrik körpülərini fərqləndirirlər. Birinci sadədir, yüksəkumlu müqavimətləri kifayət qədər böyük dəqiqliklə ölçməyə imkan verir, lakin kiçik müqavimətləri ölçərkən xəta artır.

İkiqat körpü münasib xəta ilə hətta xeyli kiçik müqavimətləri də ölçməyə imkan verir.

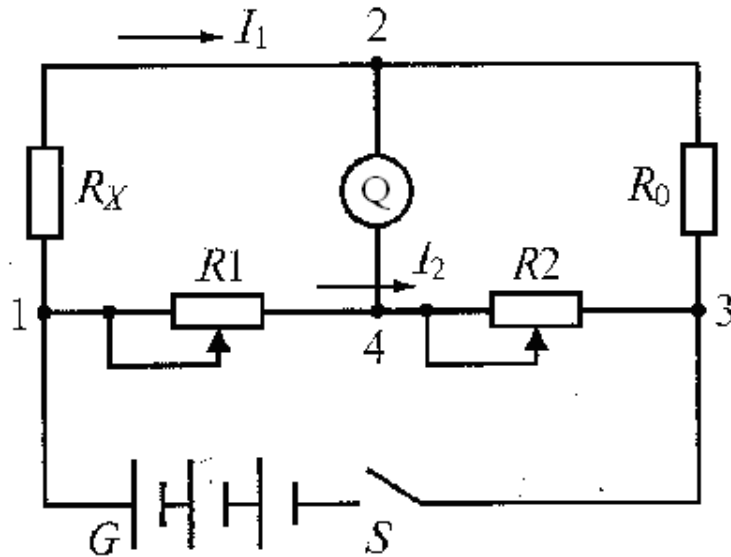
Sadə körpü. Sadə körpü metodu ilə (şəkil 5) nümunənin R_x - müqavimətini ölçərkən, R_x tərtibində olan R_o nümunəvi və ya etalon müqaviməti seçilir. R_1 və R_2 dəyişən rezistorları xeyli böyük müqavimətə malikdirlər. R_x -in ölçülməsi gedişində onların qiyməti elə seçilir ki, sıfır-qalvanometrindən (ϱ) cərəyan keçməsin (körpünün tarazlıq halı). Bu o deməkdir ki, 2 və 4 nöqtələrinin potensialı eynidir, yəni, $\varphi_2 = \varphi_4$, R_x və R_o -dan eyni I_1 , R_1 və R_2 -dən isə I_2 cərəyanları axır. Körpü sxeminin hissələrində gərginlik düşgüsü: $\varphi_1 - \varphi_2 = I_1 R_x$, $\varphi_2 - \varphi_3 = I_1 R_o$. Birinci tənliyi ikinciyə bölsək alarıq:

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_2 - \varphi_3} = \frac{R_x}{R_o} \quad (14)$$

Analoji şəkildə R_1 və R_2 rezistorlarında gərginlik düşgüsünü müqayisə edərək alarıq: $\varphi_1 - \varphi_4 = I_2 R_1$; $\varphi_4 - \varphi_3 = I_2 R_2$.

Buradan:

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_4}{\varphi_4 - \varphi_3} = \frac{R_1}{R_2} \quad (15)$$

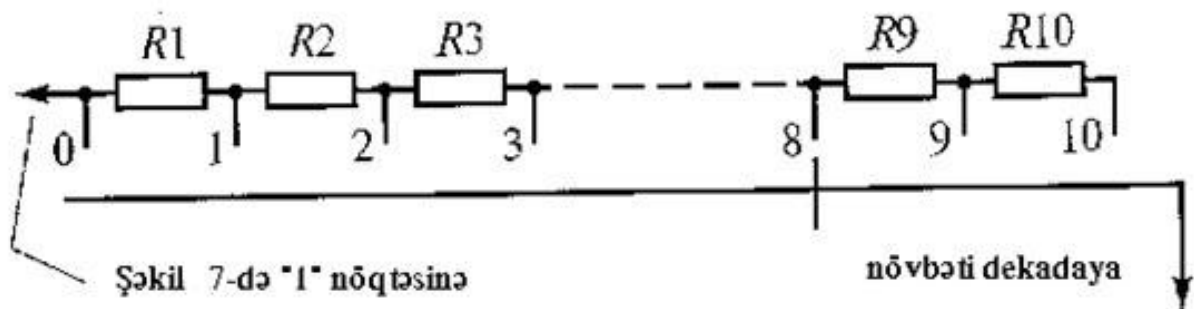


Şəkil 5. Sadə elektrik körpüsünün sadələşdirilmiş prinsipial sxemi: G-sabit cərəyan mənbəyi, S-açar. Digər simvollar mətində göstərilmişdir.

Körpünün tarazlıq halında $\varphi_2 = \varphi_4$ olduğundan (14) və (15) tənliklərinin sol tərəfləri eynidir, onda:

$$\frac{R_x}{R_o} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{buradan} \quad R_x = R_o \frac{R_1}{R_2} \quad (16)$$

Elektrik körpülərinin real konstruksiyalarında R_1 müqaviməti ardıcıl birləşdirilmiş bir neçə rezistorlar onluğundan (dekada) ibarətdir. Hər bir dekada 10 (bəzən 9) rezistor ardıcıl qoşulmuşdur və onlardan istənilən sayda ümumi dövrəyə qoşula bilər (şəkil 6).



Şəkil. 6. Ölçü rezistorları dekadasının sxemi.

Hər bir növbəti dekadı əmələ gətirən rezistorlar əvvəlki dekadın rezistorlarına nisbətən 10 dəfə az müqavimətə malikdirlər. Fərz edək ki, 10,0; 1,0 və 0,1 Om müqavimətli 3 ardıcıl qoşulmuş rezistorlar dekadı verilmişdir. Birinci, ikinci və üçüncü dekadların çeviriciləri uyğun olaraq 8, 3 və 5 vəziyyətlərinə qoşulmuşdur. Bu o deməkdir ki, ümumi dövrəyə $8 \cdot 10 + 1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 = 83,5$ Om müqavimət qoşulmuşdur. R_0 və R_2 müqavimətlərinin qiyməti də (şəkil 5) həmçinin çeviricilərin köməyi ilə qurulur, lakin rezistorların sayı xeyli azdır.

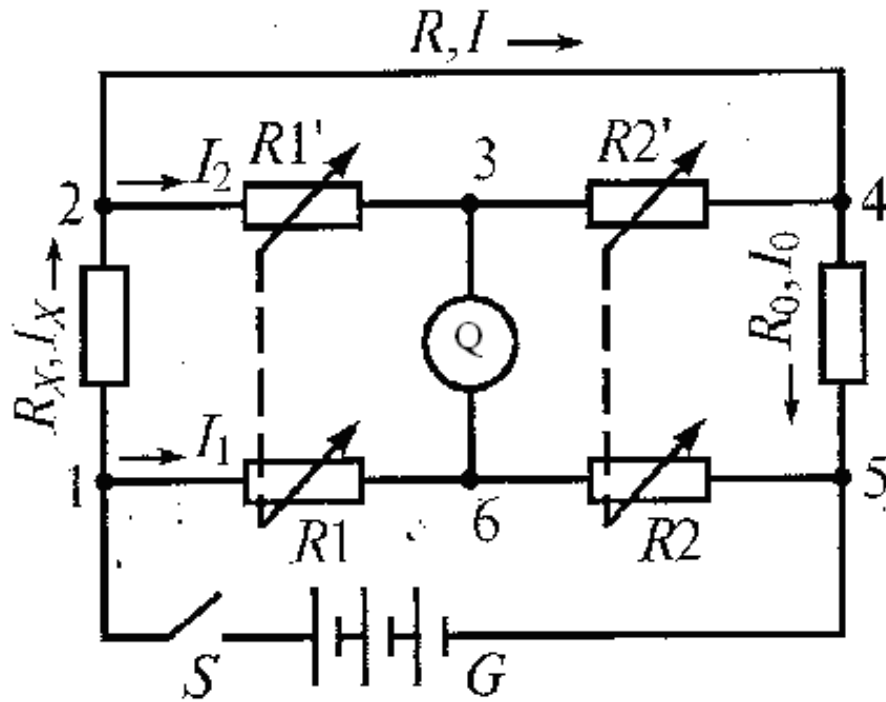
Sadə körpünün 0,1-0,001 Om-dan az müqavimətləri ölçmək üçün tətbiq edilməsi xətanı artırır, belə ki, sxemin 1-2 hissəsində (şəkil 5) R_x -dən əlavə naqillərin və kontaktların keçid müqaviməti də təsir edir. Bu müqavimətlərin cəmi R_x ilə müqayisə oluna bilər. İkiqat körpü sxeminə keçid göstərilən xətanı xeyli azaltmağa imkan verir.

İkiqat körpü. İkiqat körpünün elektrik sxemi (şəkil 7) sadə körpü sxeminə (şəkil 5) $R'_1 - R'_2$ ölçü rezistorlar zənciri əlavə etmək yolu ilə alınır.

R_1 , R'_1 , R_2 və R'_2 rezistorlarının müqaviməti R_x və R_0 -a nəzərən xeyli böyükdür. Bu, birləşdirici naqillərin və kontaktların keçid müqavimətinin ölçmə nəticələrinə təsirini xeyli azaltmağa imkan verir. Birləşmələrin müqaviməti R mümkün qədər kiçik olmalıdır. Dəyişən rezistorların hər bir cütünün müqaviməti $R_1 - R'_1$, $R_2 - R'_2$ bir dəstəklə pillə-pillə elə dəyişdirilir ki, həmişə

$$R_1 = R'_1 \text{ və } R_2 = R'_2 \quad (17)$$

olsun.



Şəkil 7. İkiqat elektrik körpüsünün sadələşmiş sxemi. İşarələmələr məndə verilmişdir.

Kirxhof qanununu sxemin 2 və 4 nöqtələrinə tətbiq etsək alarıq

$$I_x = I + I_2 = I_0 \quad (18)$$

(17) ifadəsini nəzərə almaqla ölçü rezistorlarında gərginlik düşgüsü $\varphi_1 - \varphi_6 = I_1 R_1$, $\varphi_6 - \varphi_5 = I_1 R_2$ və $\varphi_2 - \varphi_3 = I_2 R_1$, $\varphi_3 - \varphi_4 = I_2 R_2$. Buradan alarıq

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_6}{\varphi_6 - \varphi_5} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{və} \quad \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{\varphi_3 - \varphi_4} = \frac{R_1}{R_2} \quad (19)$$

(19) ifadəsində orta hədlərin yerini dəyişdirib, ikincini birincidən çıxsaq və nəzərə alsaq ki, körpünün tarazlığı zamanı $\varphi_6 = \varphi_3$, və yenə tənasübün orta hədlərinin yerini dəyişsək alarıq

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_4 - \varphi_5} = \frac{R_1}{R_2} \quad (20)$$

Bekə ki, $\varphi_1 - \varphi_2 = I_x R_x$, $\varphi_4 - \varphi_5 = I_0 R_0$, (18)-ə görə isə $I_x = I_0$ onda

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2} \quad (21)$$

İkiqat körpü üçün hesabat forması sadə körpü üçün olduğu kimidir, yalnız ikiqat körpü birqat körpüyə nisbətən daha kiçik müqavimətləri ölçməyə imkan verir. Sıfır-qalvanometrinin şkalasının bir bölgüsünün həssaslığı $10^{-8} A$ olduqda ikiqat körpünün köməkliyi ilə $10^{-5} Om$ -a qədər müqaviməti ölçmək olar.

İkiqat körpünün yüksək həssaslığı onun konstruksiyasının xüsusiyyətləri ilə şərtlənib. Belə ki, R_x və R_0 bir neçə dəfə R_1, R'_1 və R_2, R'_2 -dən kiçikdir, onda birləşmənin müqaviməti R çox kiçik olduqda $I_x = I_0$ cərəyanları I_1 və I_2 cərəyanlarına nisbətən çox böyükdür. Bu halda ölçü rezistorlarının dövrəsində müqavimətin kiçik rəqsləri 3 və 6 nöqtələrində potensialların nəzərə çarpacaq dəyişməsinə səbəb olmur, yəni körpünün tarazlığı pozulmur. Digər tərəfdən R_x hətta cüzi dəyişdikdə I_x cərəyanının böyük olmasına görə ondakı gərginlik düşgüsü hiss olunandır ki, bu da sıfır-qalvanometrinin göstərişinin dəyişməsinə gətirir.

I_x cərəyanını həddindən artıq çox etmək olmaz, belə ki, nümunənin qızması onun müqavimətinin nəzərə alınacaq dərəcədə böyüməsinə səbəb ola bilər. Məsələn, dəmir nümunənin $5^{\circ}C$ qızması onun müqavimətini 3% artırır.

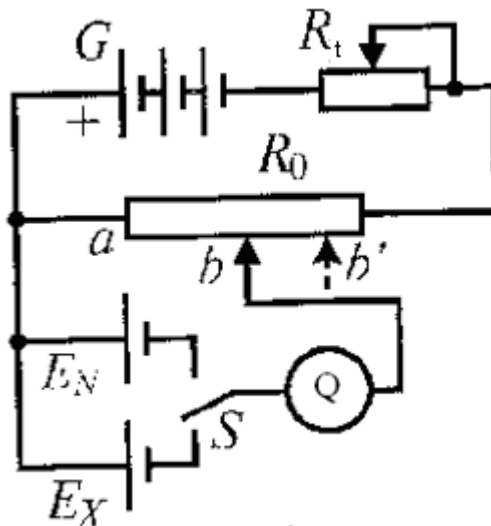
Körpülərin real konstruksiyalarında R_x dəyişməsinin müəyyən intervalında $R_2 = R'_2$ sabit seçilir, körpünün balanslaşdırılması R_1 və R'_1 -in dəyişdirilməsi ilə yerinə yetirilir.

2.3. Kompensasiya metodu

Bu metod nümunədə və etalonda (nümunəvi rezistor) gərginlik düşgülərinin müqayisə edilməsinə əsaslanıb.

Gərginlik düşgüsünün və ya EHQ-nin kompensasiya metodu ilə ölçülməsi potensiometrin köməyi ilə böyük dəqiqliklə yerinə yetirilir (şəkil 8). Batareya G , tənzimləyici reostat R_t və kalibrlənmiş müqavimət R_0 potensiometrin işçi cərəyanının dövrəsini təşkil edir.

R_0 rezistorunun sürgüsünə, S çeviricisi, sıfır-qalvanometrden keçməklə, növbə ilə normal element E_N -ə və ya ölçülən EHQ mənbəyi E_x -ə qoşula bilər.



Şəkil 8. Kompensasiya metodu ilə EHQ-nin ölçülmə prinsipini nümayiş etdirən sxem. İşarələmələr mətində göstərilmişdir.

Normal element, sabit cərəyan mənbəyi EHQ-nin ölçüsü hesab olunur və R_0 rezistorudan axan I_0 işçi cərəyanını dəqiq müəyyən etməyə xidmət edir. Doymuş normal elementlər 20°C -də 1,018540-1,018730 V intervalında $5 \cdot 10^{-4}\%$ -ə qədər xəta ilə hasil edilən EHQ-yə malikdir. Onların çatışmayan cəhəti yol verilən cərəyanın kiçik

olmasıdır (təxminən 1mkA). Doymamış elementlər 10 mkA qədər cərəyana dözə bilirlər, lakin onların 1,018800-1,018600 V intervalında yerləşən EHQ-ləri təxminən $2 \cdot 10^{-3}\%$ -ə qədər xəta ilə hasil olunur.

İşçi cərəyan I_0 -ı dəqiq müəyyən etmək üçün E_N normal elementi R_0 rezistoruna qoşulur və onun sürgüsü hərəkət etdirilərək sıfır-qalvanometrinin əqrəbi sıfırıncı bölgünün üzərinə qoyulur. Bu zaman R_0 rezistor hissəsində a nöqtəsi ilə sürgü (b nöqtəsi) arasındakı gərginlik düşgüsü E_N -ə bərabərdir:

$$E_N = I_0 r_N \quad (22)$$

Burada r_N , R_0 -rezistorun ab hissəsinin müqavimətidir. Sonra E_x -i R_0 -a qoşaraq yenidən qalvanometrini əqrəbi sıfıra qoyulur. Bu zaman R_0 rezistorunun sürgüsü müəyyən b' nöqtəsində olur və burada $r_x - R_0$ müqavimətinin a nöqtəsindən b' nöqtəsinə qədər olan hissəsinin müqavimətidir:

$$E_x = I_0 r_x \quad (23)$$

(23) tənliyini (22) tənliyinə bölsək alarıq:

$$E_x = E_N \frac{r_x}{r_N} \quad (24)$$

Axırncı ifadədən görünür ki, əgər işçi cərəyanını həmişə sabit saxlasaq

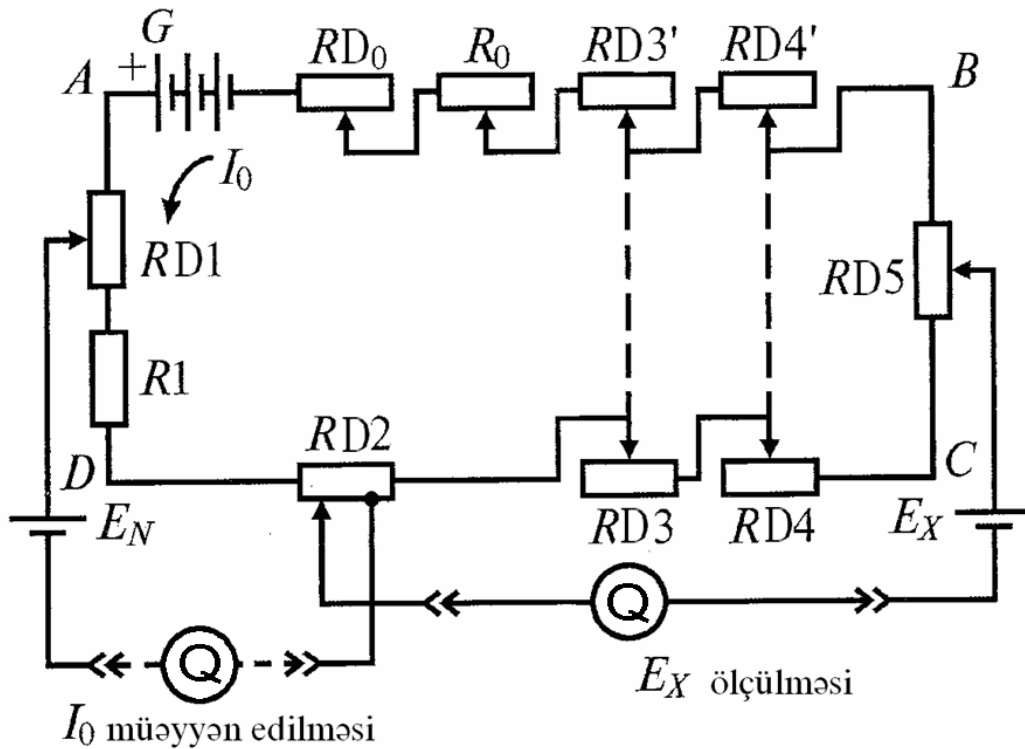
$E_x = k r_x$ olar, burada $k = \frac{E_N}{r_N}$ -olub verilmiş işçi cərəyan üçün sabit

kəmiyyətdir. Bu R_0 rezistorunu EHQ vahidinə görə yəni, volta görə dərəcələməyə imkan verir. Bu halda E_x -in qiyməti R_0 rezistorunun sürgüsünün vəziyyətinə görə hesablanı bilər. İşçi cərəyanının müəyyən edilməsi isə yuxarıdakından fərqli yerinə yetirilir. Bu məqsəd üçün R_0

rezistorunun sürgüsü verilmiş temperaturda normal elementin EQ-nə uyğun olan vəziyyətə qoyulur, sonra isə R rezistorunun köməyi ilə sıfır-qalvanometrinin göstərişinin sıfır qiymətinə nail olunur. Sonradan periodik olaraq işçi cərəyanın düzgün qoyulmasını yoxlayaraq E_x -i tapmaq olar. İşçi cərəyanın sabitliyini artırmaq üçün (şəkil 8) batareya G böyük tutuma, yüzlərlə amper-saata malik olmalıdır. Bu uzun müddət, hətta ölçmələr arasındakı fasilələrlə də batareyanı söndürməyə imkan verir ki, bu da cərəyanın sabitliyini artırır.

Potensiometrın konstruksiyası, ölçülən EQ və ya gərginlik düşgüsünün bir neçə rəqəmli qiymətlərini əminliklə hesablamağa imkan verir. Şəkil 9 potensiometrın quruluşu haqqında şəkil 8-ə nisbətən daha dolğun təsvirlər yaradır.

Şəkil 9-da düzbucaqlı, qapalı ABCD konturu ona daxil olan bütün elementləri ilə birlikdə işçi cərəyan dövrəsini təşkil edir. RD_0 , R_0 , RD_1 və R_1 (həmçinin işçi cərəyan dövrəsindən kənar E_N) elementləri işçi cərəyanı müəyyən etməyə və ona nəzarətə xidmət edir. RD_1 rezistorlar dekadası (bax şəkil 9) temperaturdan asılı olaraq E_N -nin dəyişməsinə kompensasiya etməyə imkan verir.



Şəkil. 9. Sabit cərəyan potensiyometrinin sadələşmiş prinsipial sxemi.

$RD_3 - RD_3'$ qoşalaşmış dekadaları elə hazırlanmışlar ki, əgər RD_3 dekadasının müqaviməti azalırsa, onda RD_3' müqaviməti həmin qədər artır. Nəticədə işçi cərəyan dövrəsinin müqaviməti və beləliklə işçi cərəyan şiddəti sabit qalır, lakin A və B nöqtələrinin potensialı (RD_2 və RD_5 dekadalarının sürgüləri) dəyişir. Deyilənlər tamamilə olduğu kimi $RD_4 - RD_4'$ dekadalarına da aiddir.

Potensiyometrin tarazlığına nail olunan anda (sıfır-qalvanometrindən cərəyan keçmədikdə) işçi cərəyanın yan dövrələrə budaqlanması baş vermir.

Potensiyometrin şəkil 9-da göstərilən sxemi E_x -in qiymətinin dörd rəqəmini hesablamağa imkan verir (və ya əgər qalvanometr normal

elementin dövrəsinə birləşib sə E_N -nin qiymətinin). Rəqəmlərin sayı işçi cərəyan dövrəsinə daxil olan dekadaların sayı ilə təyin edilir. Baxılan halda dekadalar $RD_2, RD_3 - RD_3', RD_4 - RD_4', RD_5$ -dir. İşçi cərəyan dövrəsinə daha 2 qoşalaşmış dekada əlavə etməklə EHQ-nin qiymətinin rəqəmlərinin sayını beşə çatdırmaq olar.

Potensiometrlərin imkanları haqqında aşağıdakı mülahizəni yürütmək olar. Kiçik omlu sabit cərəyan potensiometri PPTN-1 20mV-dan az gərginliyi və ya EHQ-ni ölçməyə imkan verir. Bu potensiometrin mütləq xətası:

$$\Delta U = \pm(150U + 2U_{max}) \cdot 10^{-6} V \quad (25)$$

qiymətinə malikdir. Burada U -potensiometrin voltlarla göstərişi, U_{max} - ölçmənin voltlarla yuxarı həddidir. Yuxarı həddə maksimal xəta $3,06 \cdot 10^{-6} V$ -u aşmır. Bu potensiometrin kompensasiya etdiyi gərginlik 0,1 mV-a bərabər pillələrlə dəyişir.

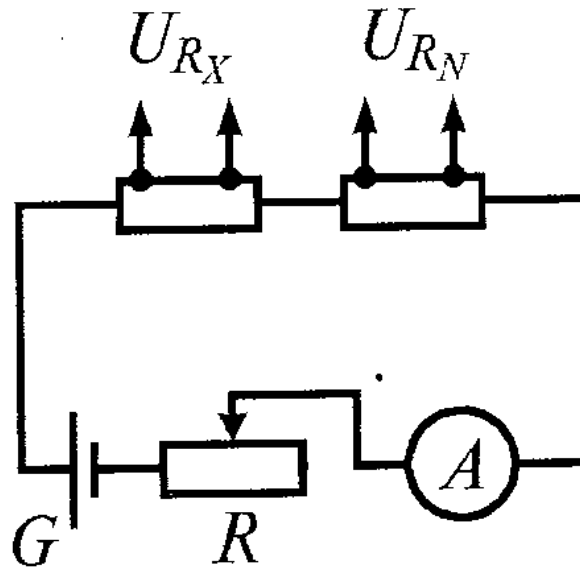
Kompensasiya metodu ilə kiçik EHQ-ni və ya gərginlik düşküsunü ölçən zaman, tez-tez sxemin müxtəlif hissələrində parazit termo-EHQ-nin olması ilə əlaqədar xəta yaranır. Onların təsirini azaltmaq üçün E_x və ya U_x -in işarəsini və cərəyan mənbəyinin qütblərini dəyişərək, ölçməni bir neçə dəfə təkrarlayırlar. Bir halda ki, termo-EHQ bu zaman işarəsini dəyişmir, onda

$$E'_x = E_x + E_T; E''_x = E_x - E_T; E_x = 0,5(E'_x + E''_x)$$

Burada E'_x, E''_x -birinci və ikinci ölçmələrin nəticəsi, E_T -parazit termo-EHQ-dir.

Kompensasiya metodu ilə elektrik müqavimətinin ölçülməsi eyni bir I cərəyanının axdığı nümunəvi rezistorda R_N və öyrənilən nümunədə R_x

gərginlik düşgüsünün kompensasiya metodu ilə ölçülməsinə gətirilir (şəkil 10).



Şəkil. 10. R_x -in kompensasiya metodu ilə ölçülməsi üçün nümunənin və etalon rezistorun birləşməsi sxemi.

R_x və R_N növbə ilə potensiometrə E_x əvəzinə qoşularaq (bax şəkil 8 və 9) onlardakı gərginlik düşgüsü tapılır $U_{R_X} = IR_X$, $U_{R_N} = IR_N$ buradan

$$R_X = R_N \frac{U_{R_X}}{U_{R_N}} \quad (26)$$

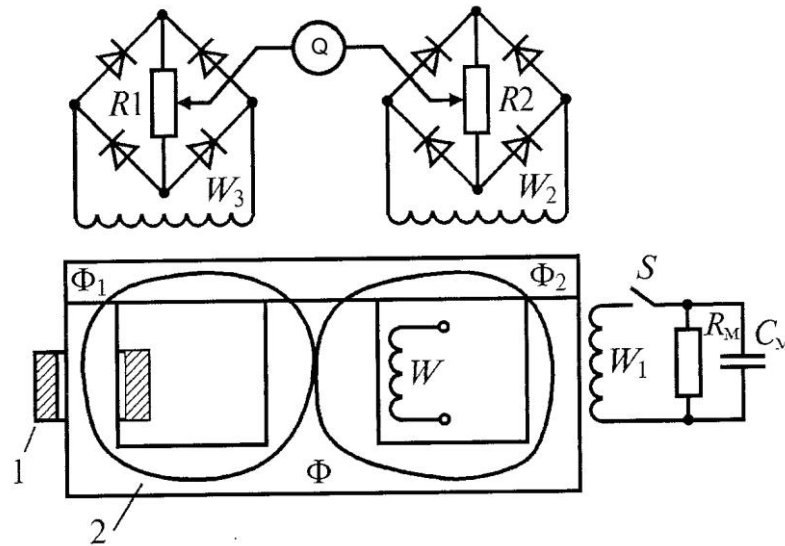
Tarazlıq halında ölçmə dövrəsindən cərəyan axmadığına görə R_x və ya R_N -i potensiometrlə birləşdirən naqillərin müqaviməti ölçmə nəticələrinə təsir etmir. Bu kiçik müqavimətlərin ölçülməsinin dəqiqliyini artırır və otaq temperaturundan fərqlənən temperaturlarda ölçmə zamanı zəruri olan naqillərin xeyli uzadılmasına imkan verir.

2.4. Kontaktsiz metodla elektrik müqavimətinin ölçülməsi

Transformator metodu o vaxt tətbiq edilir ki, nümunə məftil, lent və ya nazik mil şəklində hazırlana bilmir və yuxarıda təsvir etdiyimiz

metodlardan istifadə mümkünsüz olur. Bu halda, halqa şəkilli 1 nümunəsi (şəkil 11) sökülə bilən içlikli 2 transformatorunun qısa qapanmış ikinci dolağıdır. Birinci dolağı W isə içliyin orta milinə sarınmış və dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşulmuşdur.

Orta mildə yaranan Φ maqnit selinin içliyin kənar milləri arasında paylanması ikinci dolağın yükünün (nümunə 1 və w_1) miqdarından asılıdır və beləliklə, w_1 -ə qoşulmuş müqavimətlər mağazasının R_M müqavimətinin dəyişdirilməsi yolu ilə tənzimləyə bilər. Nümunənin müqavimətinin ölçülməsi içliyin kənar millərində Φ_1 və Φ_2 maqnit sellərinin bərabərləşdirilməsinə gətirilir. Sellərin ölçülməsi w_2 və w_3 sarğılarının köməkliyi ilə həyata keçirilir: bərabər sellər identik sarğılarda eyni EQY yaradır, buna görə də qalvanometr Q göstərişi sıfıra uyğun gəlir.



Şəkil 11. Transformator metodu ilə müqaviməti ölçmək üçün qurğunun prinsipial sxemi: 1-nümunə, 2-transformatorun içliyi.

Nümunə olmadıqda və w_1 makarasının açıq dövrəsində, sxemin qeyri-simmetrikliliyini kompensə etmək üçün sıfır qalvanometr R_1 və R_2 dəyişən rezistorlarının sürgüsünə qoşulur.

Əgər Φ_1 seli nümunədə E_N -ə bərabər EHQ yaradırsa, onda nümunədən keçən cərəyan şiddəti

$$I_n = \frac{E_n}{R_n} = \frac{4kf\Phi_1 W_n}{R_n} \quad (27)$$

kimi olar. Burada k -gərginlik əyrisi formasının əmsalı; f -cərəyanın tezliyi; W_n -nümunənin əmələ gətirdiyi sarğınların sayı (adətən $W_n = l$), R_n - nümunənin müqavimətidir.

Nümunənin amper-sarğınlarının sayı:

$$A_n = I_n W_n = \frac{4kf\Phi_1 W_n^2}{R_n} \quad (28)$$

Makaranın amper-sarğısı isə

$$A_M = I_M W_1 = \frac{4kf\Phi_2 W_1^2}{R_M} \quad (29)$$

Sellər bərabər olduqda ($\Phi_1 = \Phi_2$ olduqda) amper-sarğınlar da bərabər olmalıdır, buna görə də (28) və (29) tənliklərindən alınır ki,

$$\frac{W_n^2}{R_n} = \frac{W_1^2}{R_M} \quad \text{və ya} \quad R_n = R_M \frac{W_n^2}{W_1^2} \quad (30)$$

Əgər $W_n = l$ olsa, onda

$$R_n = \frac{R_M}{W_1^2} \quad (31)$$

Ölçmələr aşağıdakı ardıcılıqla aparılır:

1. W_1 makarasının açıq dövrəsində və nümunə olmadıqda R_1 və R_2 rezistorlarının köməyi ilə qalvanometrin sıfır göstərişinə nail olunur;
2. Nümunə əvəzinə R_e müqaviməti dəqiq məlum olan etalon yerləşdirilir və W_1 makarasının dövrəsini qapayıb qalvanometrin sıfır göstərişi əldə olunur. Bu məqsədlə müqavimətlər mağazasının

müqaviməti R_M elə seçilir ki, $R_{Mak} + R_{Maq} = R_e$ olsun, sonra tutum mağazasının C_M köməyi ilə faza sürüşməsi kompensə edilir;

3. Etalon götürülür, onun yerinə nümunə qoyulur və yenidən yalnız müqavimətlər mağazasının müqavimətini dəyişdirərək qalvanometrin sıfır göstərişinə nail olunur.

Burulğanlı cərəyanlar metodu ixtiyarı formalı və qeyri-məhdud böyük ölçülü nümunələrin xüsusi elektrik müqavimətini qiymətləndirməyə imkan verir.

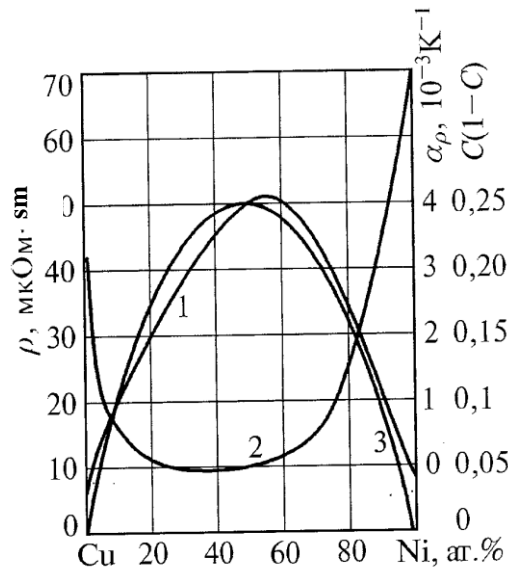
Dəyişən gərginlik mənbəyi ilə birləşdirilmiş həyəcanlanma makarasının köməkliyi ilə nümunədə dəyişən (burulğanlı) cərəyan yaradılır. Burulğanlı cərəyanın qiyməti və sınaqdan keçirilən nümunənin və ya digər obyektin en kəsiyinə görə paylanması onun elektrik keçiriciliyindən, maqnit nüfuzluğundan, formasından, ölçüsündən və makaranın formasından asılıdır. Burulğanlı cərəyanın qeyd olunması və ölçülməsi ya ölçü qurğusu ilə birləşdirilmiş ikinci makaranın köməyi ilə ya da öyrənilən obyektə yaxınlaşdırılarkən həyəcanlanma makarasının tam elektrik müqavimətinin (impedans) dəyişməsinə görə həyata keçirilir. Müstəvi makaralardan daha çox istifadə edilir. Qurğu məlum müqavimətli nümunəyə görə dərəcələnilir. Bu metod, əsasən polad və ərintilərin çeşidlənməsi və defektoskopiya məsələlərinin həlli zamanı tətbiq olunur.

3. Metallik ərintilərin elektrik müqavimətinin öyrənilməsi.

3.1 Bərk məhlulların elektrik müqavimətinin konsentrasiyadan və deformasiyadan asılılığının öyrənilməsi.

Bircins məhlullar. Həll olan elementin müqavimətinin həlledici ilə müqayisədə böyük və ya kiçik olmasından asılı olmayaraq bərk məhlullar əmələ gələrkən onların elektrik müqaviməti artır. Bu komponentlərin müqavimətlərinin nisbətindən asılı olmayaraq bərk məhlul əmələ gələrkən kristallik qəfəsin təhrif olunması ilə əlaqədardır. Bundan əlavə elektrik müqavimətinin artması komponentlərinin kimyəvi qarşılıqlı təsiri ilə də əlaqədar ola bilər.

Kəsilməz bərk məhlul sırasını əmələ gətirən ərintilərinə 50 at%-ə yaxın konsentrasiyalarda elektrik müqavimətinin qiymətində maksimum müşahidə olunur (şəkil 12).



Şəkil. 12. *Cu-Ni* ərintilərinin xüsusi elektrik müqaviməti (1), elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı α_ρ (2) və $C(1-C)$ funksiyası (3), burada C-nikelin atom payıdır.

Yüksək maqnit qavrayıcılığına malik ferromaqnit və paramaqnit məhlulların elektrik müqavimətindəki maksimum başqa konsentrasiyalarda müşahidə oluna bilər. Ərintinin elektrik müqaviməti komponentlərin elektrik müqavimətlərindən bir neçə dəfə böyük ola bilər. Bu cür ərintilərin elektrik müqavimətinin konsentrasiya asılılığı təxminən $C(1-C)$ ifadəsi ilə təsvir olunur, burada C -komponentlərdən birinin atom payıdır (bax şəkil 12).

$C(1-C)$ əyrisini qurarkən ordinata görə masştab elə seçilir ki, ρ və $C(1-C)$ -nin konsentrasiya asılılıqlarının ekstremumları eyni səviyyədə yerləşsinlər.

Bərk məhlulun xüsusi elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı α_{ρ} həlledicinin xüsusi elektrik müqavimətinin temperatur əmsalından azdır. Kiçik konsentrasiyalarda məhlulun elektrik müqaviməti təqribən Matissen-Fleminq qaydası ilə təyin edilir.

$$\rho = \rho_{\text{əsas}} + c\rho_{\text{əlavə}} \quad (32)$$

burada $\rho_{\text{əsas}}$ -həlledici komponentin elektrik müqaviməti olub, temperatur aşağı düşdükcə azalır; $\rho_{\text{əlavə}}$ -bir atom faizi aşqar həll olunan zaman əmələ gələn, əlavə elektrik müqaviməti; c -aşqarın atom faizləri ilə payıdır. $c\rho_{\text{əlavə}}$ -hasili qalıq elektrik müqaviməti adlanır. Qalıq elektrik müqaviməti temperaturdan asılı deyil, buna görə də bərk məhlul üçün

$$\alpha_{\rho_t} = \frac{d\rho}{dt} \cdot \frac{1}{\rho_t} = \frac{d\rho_{\text{əsas}}}{dt} \cdot \frac{1}{\rho_t} \quad (33)$$

həlledici metal üçün

$$\alpha_{\rho_{\text{əsas}}} = \frac{d\rho_{\text{əsas}}}{dt} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{əsas}_t}} \quad (34)$$

Bir halda ki, $\rho_t > \rho_{\text{əsas}}$, onda $\alpha_{\rho_t} < \alpha_{\text{əsas}}$.

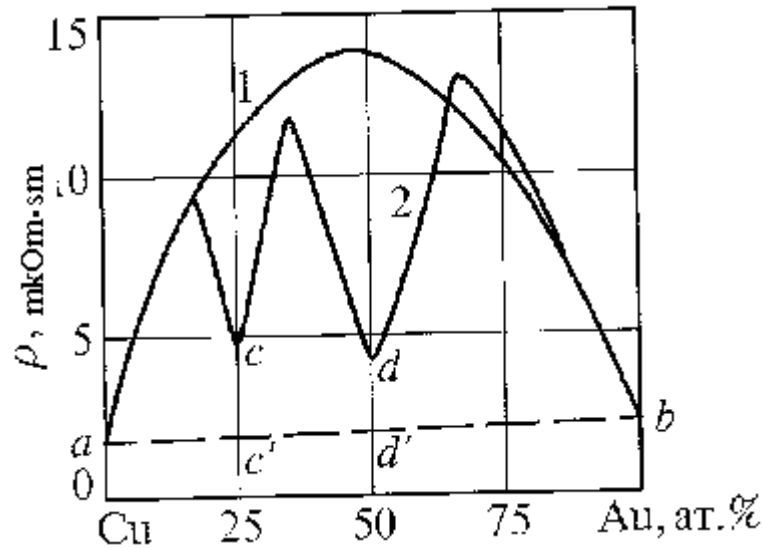
Əlavə müqavimətin temperaturdan asılı olması ilə əlaqədar bir çox ərintilərdə (32) ifadəsindən kənara çıxmalar müşahidə olunur. Bu halda (32) ifadəsi belə şəkil alar:

$$\rho = \rho_{\text{əsas}} + c\rho_{\text{əlavə}} + \Delta \quad (35)$$

Burad Δ -Matissen-Fleminq qaydasından kənara çıxma olub, konsentrasiya artdıqca artır və temperaturdan asılıdır.

Bərk məhlulların müqavimətini müəyyən edən bir sıra digər qanunauyğunluqlar da məlumdur. Məsələn, əlavə müqavimət komponentlərin valentliklərinin fərqi kvadrata ilə mütənasib artır; məhlulun müqaviməti, hər tərəfli sıxılma zamanı azalır və plastik deformasiya nəticəsində artır. Bərk məhlulun plastik deformasiya zamanı müqavimətinin artması, təmiz metalların deformasiyası zamanı müqavimətinin artmasına nisbətən xeyli böyükdür. Məsələn, 28% sinkə malik α – bürüncün elektrik müqavimətinin plastik deformasiya nəticəsində artması 20%-ə çatır. Hesab olunur ki, bu yalnız qəfəsin təhrifləri ilə deyil, həm də atomlararası qarşılıqlı təsir qüvvələrinin dəyişməsi ilə şərtlənib.

Nizamlı ərintilər. Bərk məhlulun nizamlanması onun elektrik müqavimətinin azalması ilə müşayiət olunur (şəkil 13). Bu kristallıq qəfəsin elektrik sahəsinin nizamlılığı və simmetriyinin artması ilə əlaqədardır. Maksimal nizamlanma və ona uyğun xüsusi elektrik müqavimətinin ən çox azalması komponentlərin müəyyən stexiometrik nisbətində müşahidə olunur. *Cu-Au* sistemində belə azalma Cu_3Au və CuAu tərkiblərində müşahidə olunur.



Şəkil. 13. *Cu-Au* ərintilərinin xüsusi elektrik müqavimətinə nizamlanmanın təsiri: 1-tablanmış nizamlanmamış ərintilər; 2-tabı alınmış nizamlanmış ərintilər;

Hətta nizamlılıq dərəcəsi ən böyük olan belə ərintinin müqavimətinin minimal qiyməti (şəkil 13-də *c* və *d* nöqtələri) komponentlərin müqavimətlərini birləşdirən *ab* düz xəttindən yuxarıda olur. *cc'* və *dd'* parçaları nizamlanma zamanı komponentlərin kimyəvi qarşılıqlı təsirinin güclənməsi və nizamlanmanın natamamlığı ilə şərtlənən qalıq elektrik müqavimətinin qiymətini xarakterizə edir.

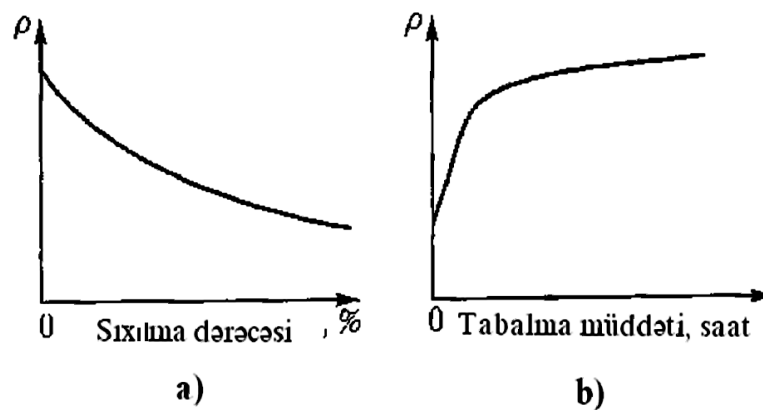
Nizamlı ərintilərin öyrənilməsi zamanı istifadə edilən Tomson-Qoldqammerin maqnitorezistiv effektinə əsaslanan metod çox yüksək həssaslığa malikdir. Bu effektin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, naqili yüksək intensivlikli eninə maqnit sahəsində yerləşdirdikdə elektrik müqaviməti artır. Məsələn, Cu_3Au ərintisi üçün nizamlanmış halda 10^6A/m intensivlikli eninə maqnit sahəsində $\Delta R/R$ nisbəti (ΔR -sahə tətbiq edildikdə elektrik müqavimətinin artmasıdır), nizamlanmamış hala nisbətən 50 dəfə böyükdür.

Nizamlı-nizamsız keçidi zamanı xüsusi elektrik müqaviməti cəmi 2-3 dəfə dəyişir. Plastik deformasiya ərintilərin elektrik müqavimətini onlarla faiz artırır. Bu, sürüşmə prosesləri ilə bağlı nizamlı quruluşun dağılması ilə əlaqədardır.

Qeyri- bircins məhlullar. Keçid metallarına malik bəzi bir fazalı ərintilərin (*Mn-Cu*, *Fe-Al*, *Ni-Cr*, *Ni-Cu* və başqaları) elektrik müqaviməti, plastik deformasiya zamanı azalır, sonrakı tab alma isə müqavimətin artmasına gətirir (şəkil 14).

Bu da, bu cür ərintilərdə bərk məhlulun submikroskopik qeyri-bircinsliklərinin mövcud olması, onların plastik deformasiya zamanı dağılması və tab alma ilə bərpa olunması ilə əlaqədardır. Bu cür substruktur qeyri-bircinslikləri K-halı adını almışdır.

Əlavə müqavimət (təmiz komponentin müqavimətindən yüksək) üçün $C(1-C)$ qaydası yalnız bircins məhlullara tətbiq edilə bilər.



Şəkil. 14. Nixromun (80% *Ni*, 20% *Cr*) xüsusi elektrik müqavimətinin dəyişməsi sxemi; a) plastik deformasiya və b) sonrakı tab alma zamanı.

Bir çox bərk məhlullar üçün bu qayda ödənilmir və onların əlavə elektrik müqaviməti $\Delta\rho$ aşağıdakı qaydaya tabedir:

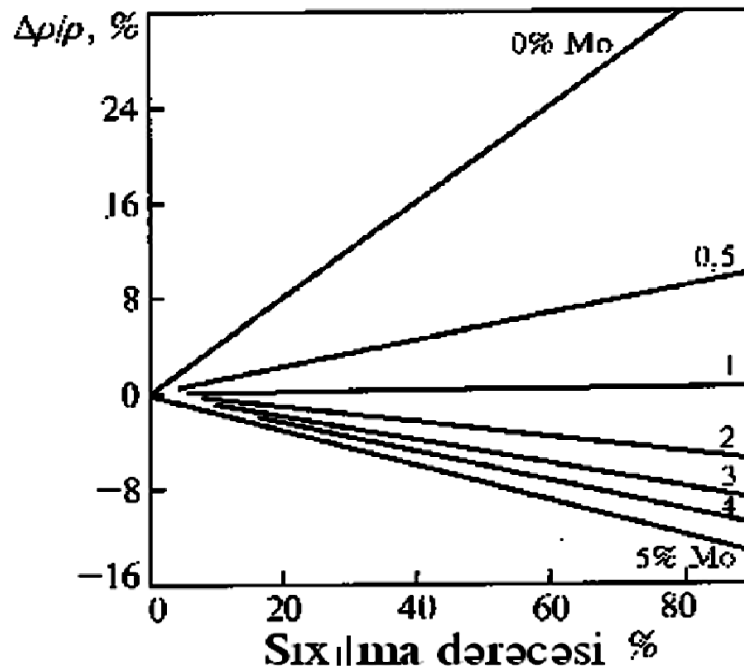
$$\frac{\Delta\rho}{C} = \xi(1 - \lambda \cdot C/100) \quad (36)$$

Burada $\Delta\rho$ - C konsentrasiyalı məhlul əmələ gələrkən elektrik müqavimətinin artması; $\xi = \lim(\Delta\rho/C)_{c \rightarrow 0}$; $\lambda - C(1-C)$ qaydasından kənara çıxmanı xarakterizə edən əmsaldır.

Əgər $\lambda=1$ olarsa $C(1-C)$ qaydası ödənilir. $\lambda < 1$ olduqda $\Delta\rho$ bircins məhlul üçün olan hala nisbətən böyükdür. Ehtimal ki, bu yaxına nizamlılığın bərqərar olmasına uyğundur. Mükəmməl yaxına nizamlılıq halında hər bir atom digər növ atomlarla əhatə olunur. Əgər $\lambda > 1$ olarsa onda $\Delta\rho$ bircins hala nisbətən kiçikdir. Bu həm yaxına nizamlılıqla, həm də klasterlərin - eyni növ atomların submikroskopik toplanmasının (K-halı) əmələ gəlməsi ilə əlaqədar ola bilər. Bu halda $C(1-C)$ qaydasından kənara çıxma səbəbini yalnız elektrik müqavimətinin ölçülməsi yolu ilə birmənalı müəyyən etmək olmaz.

Bərk məhlulda komponentlərin qeyri-bircins paylanması müəyyən kritik qiymətdən aşağı temperaturalarda (X20H80 ərintisində -800°C -dən aşağı) qərarlaşır. Klasterlər, hətta bərk məhlulun bircins halına uyğun temperaturdan suda soyuma zamanı da yaranır.

Molibdenlə legirlənmiş Ni_3Fe əsaslı ərintilərdə deformasiya zamanı elektrik müqavimətinin fərqli dəyişməsi müşahidə olunur (şəkil 15).



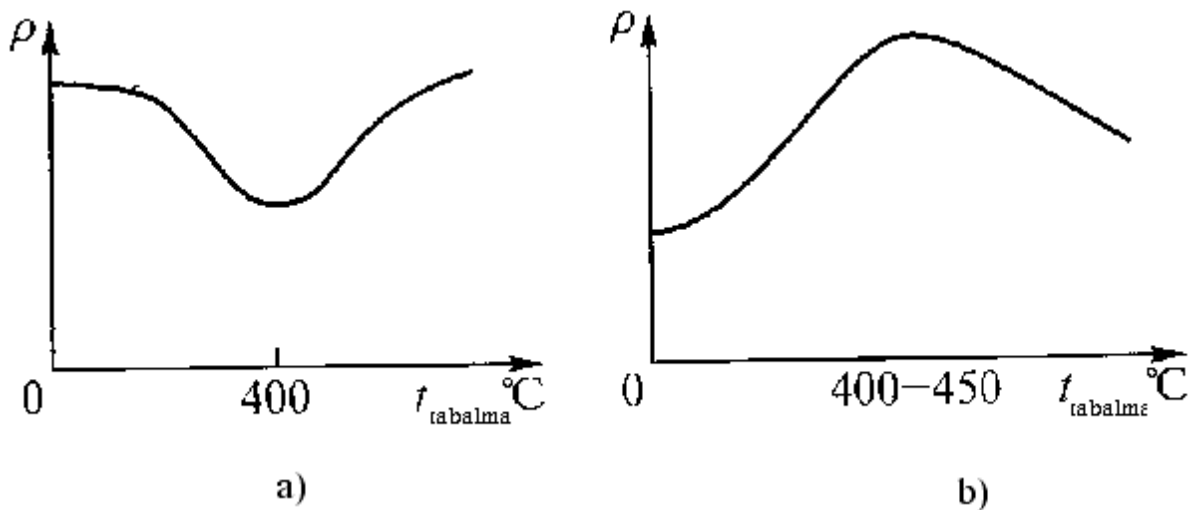
Şəkil 15. Plastik deformasiyanın, əvvəlcədən tabı alınmış *Ni-Fe* ərintilərinin xüsusi elektrik müqavimətinə təsiri.

1% *Mo*-ə malik ərintilər plastik deformasiya nəticəsində elektrik müqavimətlərini dəyişmirlər. Molibdensiz ərintilərdə deformasiya zamanı elektrik müqavimətinin xeyli artması nizamlı halın dağılmasını göstərir. Bir faizdən artıq molibdenə malik ərintilərin deformasiyası zamanı elektrik müqavimətinin azalması, submikroskopik seqreqasiyanın (klasterlərin) dağılması ilə şərtlənir. Şəkil 15-dən görünür ki, *Ni₃Fe* ərintisində molibenin miqdarı artdıqca, tab alma zamanı nizamlı haldan klasterlərin formalaşmasına keçid tədricən baş verir. Bir faiz molibdenli ərintilərdə elektrik müqavimətinə əks təsir edən proseslərin qarşılıqlı kompensasiyası baş verir.

Molibdensiz və 5 faiz molibdenli, plastik deformasiya olunmuş ərintilərin müqaviməti qızma zamanı bir-birinin əksinə dəyişirlər (şəkil 16). Birinci halda (şəkil 16.a) müqavimət 400°C-ə qədər qızma zamanı azalır. Belə ki, deformasiyanın dağıtdığı nizamlı halın bərpaası baş verir.

Daha yüksək temperaturlarda nizamlı hal temperaturun təsirindən dağılır və elektrik müqaviməti yenidən artır.

Molibdenli ərintilərdə (şəkil 16. b) 400-450°C-ə qədər qızdırılma bərk məhlulda atomların qeyri-bircins paylanmasını bərpa edir, bu da müqavimətin artmasına gətirir. Göstərilən temperaturdan yuxarı qızdırılma zamanı klasterlərin termik dağılması baş verir və elektrik müqaviməti azalır.



Şəkil 16. Ni_3Fe əsasında, deformasiya olunmuş ərintilərin tabının alınması zamanı elektrik müqavimətinin dəyişməsi sxemi:
a) molibdensiz və b) 5% molibdenə malik ərintilər.

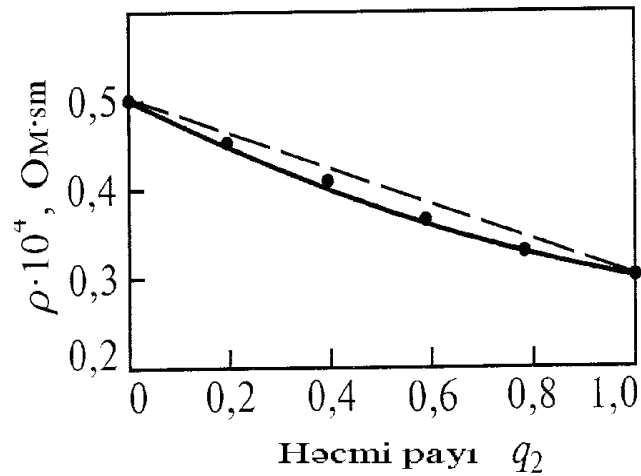
3.2. Heterogen ərintilərinin elektrik müqavimətinin quruluşdan asılılığının öyrənilməsi.

Xüsusi elektrik müqaviməti quruluşa həssas xarakteristikadır. Buna görə də heterogen ərintilərin elektrik müqaviməti yalnız onların kimyəvi tərkibindən, ikinci fazanın (və ya fazaların) həcmi payından və fazanın xüsusi müqavimətindən deyil, həm də quruluşdan asılıdır. Digər şərtlər eyni olduqda elektrik müqaviməti əsasən bərk məhlulda fazaların miqdarından, formasından, paylanma xarakterindən, dənənin ölçülərindən, kristallik quruluşun qüsurlarının sıxlığından asılıdır.

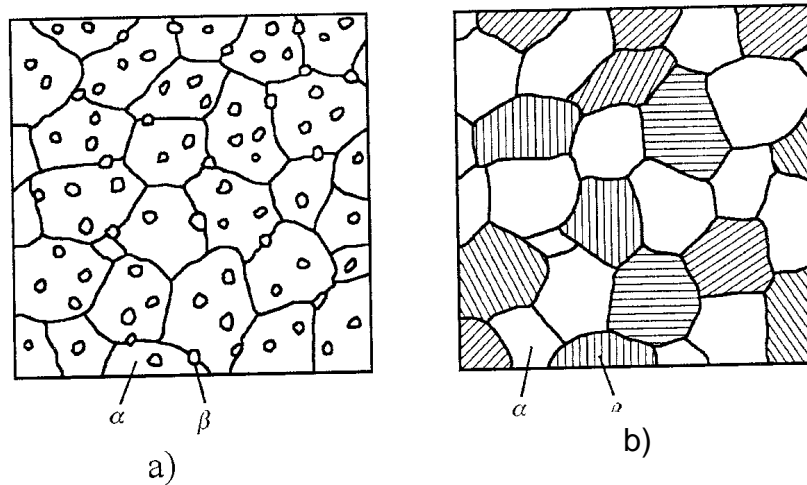
Bəzi hallarda heterogen ərintilərin elektrik müqaviməti təqribən hesablanı bilər. Belə ki, əgər teksturaya malik olmayan tabı alınmış ərinti keçiriciliyə görə az fərqlənən ($\sigma_1 / \sigma_2 = 0,75 \dots 1,75$), təqribən bərabər oxlu kristala malik 2 fazadan ibarətdirsə, onda ərintinin xüsusi elektrik müqaviməti

$$\rho = \rho_1^{q_1} \cdot \rho_2^{q_2} \quad (37)$$

kimidir. Burada ρ_1 və ρ_2 -fazaların xüsusi müqaviməti, q_1 və q_2 onların həcmi paylarıdır ($q_1 + q_2 = 1$). Bu asılılıq konsentrasiya oxuna tərəf çüzi qabarıq əyri ilə ifadə olunur (şəkil 17). Elektrik müqavimətinin kütləyə görə faizlərlə ifadə olunmuş konsentrasiyadan asılılığı praktiki olaraq xəttidir. Mikroquruluşun xüsusiyyətlərini nəzərə alan daha ciddi hesablamalara bir neçə dəfə cəhd edilmişdir. Dənələri təxminən bərabəroxlu ikinci fazalara malik olan ikifazalı ərintilər matrisalı və ya statistik quruluşlu ola bilərlər (şəkil. 18).



Şəkil. 17. (37) ifadəsinə əsasən fazaların həcmi payının ərintilərin xüsusi elektrik müqavimətinə təsiri.



Şəkil. 18. a) matrisalı və b) statistik mikroquruluşun sxemi.

Matrisa quruluşlu ərintilərin xüsusi elektrik keçiriciliyi

$$\sigma = \sigma_0 \left[1 + \frac{C_1}{(1-C_1)/3 + \sigma_0/(\sigma_1 - \sigma_0)} \right] \quad (38, a)$$

Nəzərə alsaq ki, $\sigma = 1/\rho$, onda alarıq

$$\rho = \rho_0 \left[\frac{2\rho_1 + \rho_0 + C_1(\rho_1 - \rho_0)}{2\rho_1 + \rho_0 - 2C_1(\rho_1 - \rho_0)} \right] \quad (38, b)$$

Burada “0” və “1” indeksləri uyğun olaraq matrisaya (α -faza) və β -fazaya aiddir, C_1 - β -fazanın həcm payıdır.

Statistik quruluşlu ərintilərin keçiriciliyi

$$\sigma = \frac{(3C_1 - 1)\sigma_1 + (3C_2 - 1)\sigma_2}{4} + \left(\frac{[(3C_1 - 1)\sigma_1 + (3C_2 - 1)\sigma_2]^2}{16} + \frac{\sigma_1\sigma_2}{2} \right)^{0.5} \quad (39)$$

Burada C_1, C_2 -uyğun olaraq birinci (α) və ikinci (β) fazaların həcmi miqdarı, σ_1, σ_2 -isə keçiriciliklərdir.

Lay şəkilli quruluşun məsələn, perlitin müqaviməti layların oriyentasiyasından asılıdır. Sementitin xüsusi elektrik müqaviməti ferritin xüsusi elektrik müqavimətinə nisbətən xeyli böyükdür. Buna görə də poladın elektrik müqaviməti, perlitdə sementit layın oriyentasiyasından asılıdır və əgər karbid laylar cərəyanın istiqamətinə paralel yerləşmişlərsə ən kiçikidir.

Bu halda

$$\sigma = \sigma_1\sigma_1 + \sigma_2\sigma_2 \text{ və ya } \rho = \frac{\rho_1\rho_2}{C_1\rho_2 + C_2\rho_1} \quad (40)$$

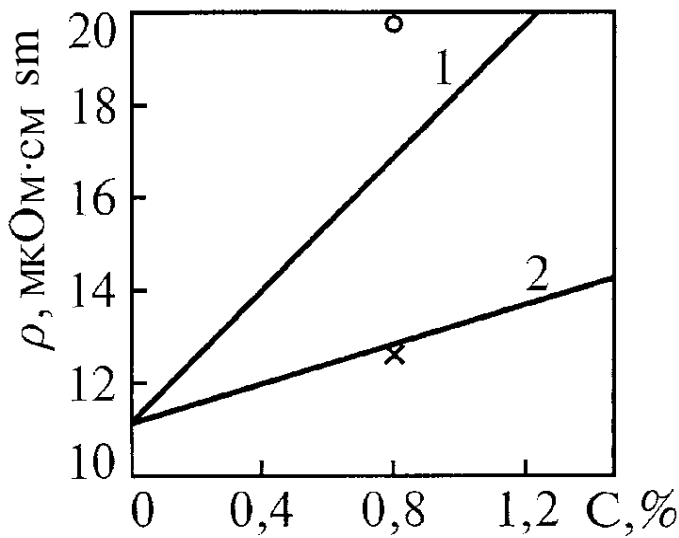
əgər laylar cərəyanın istiqamətinə perpendikulyardırsa, onda

$$\rho = \rho_1C_1 + \rho_2C_2 \quad (41)$$

Nümunə olaraq sementit laylarının uzununa və eninə vəziyyətində evtektoid poladın xüsusi elektrik müqavimətini hesablayaq. Fərz edək ki, ferritin xüsusi elektrik müqaviməti $\rho_1 = 10,5 \text{ mkOm}\cdot\text{sm}$, karbidin müqaviməti isə $\rho_2 = 140 \text{ mkOm}\cdot\text{sm}$ -dir. Ferritin və karbidin həcmi payı uyğun olaraq 0,88 və 0,12-dir onda poladın elektrik müqaviməti sementit layların uzununa vəziyyətində 16,81, eninə vəziyyətində 26,04 $\text{mkOm}\cdot\text{sm}$ olar.

Xüsusi elektrik müqavimətinin yuxarıda (37)-(41) ifadələri ilə göstərilmiş quruluşa yüksək həssaslığı nəticəsində yalnız reallığa yaxın bəzi hallara baxmaq lazımdır. Dənəli perlit quruluşlu evtektoid poladın

elektrik müqavimətinin (38, b) tənliyinə görə hesablanması $\rho = 12,38$ $mkOm \cdot sm$ qiymətini verir ki, bu da şəkil 19-da 2 əyrisi ilə yaxşı uzlaşır.

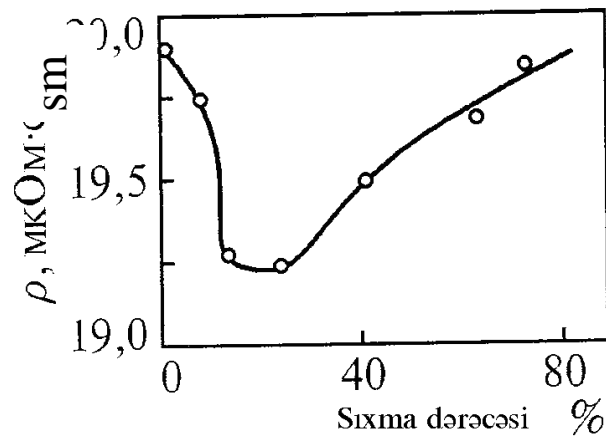


Şəkil. 19. Layşəkilli (1) və dənəvər (2) formalı karbidə malik poladın xüsusi elektrik müqaviməti.

Hesablama qiymətləri: X-(38. b) tənliyinə görə, O-(40) və (41) tənliklərinə görə hesablamaların orta qiymətləri.

Digər tərəfdən (40) və (41) tənliklərinə görə elektrik müqavimətinin hesablanmasının nəticələrinin orta qiyməti $18,92$ $mkOm \cdot sm$ olub, karbid layları üstün istiqamətində malik olmayan, təxminən laylı perlit quruluşuna uyğun xətdən xeyli yuxarıda alınır (şəkil 19).

Plastik deformasiya heterogen ərintilərin elektrik müqavimətinin 2 faktorun təsiri altında dəyişməsinə səbəb olur. Kristallik quruluşun qüsurlarının sıxlığının artması elektrik müqavimətini artırır, fazaların nisbi yerləşməsinin xarakterinin dəyişməsi isə onu azaldır. Sonuncu 0,3 % karbona malik poladların nisbətən kiçik, 20%-ə qədər sıxılması zamanı elektrik müqavimətinin düşməsinə izah edir (şəkil 20).



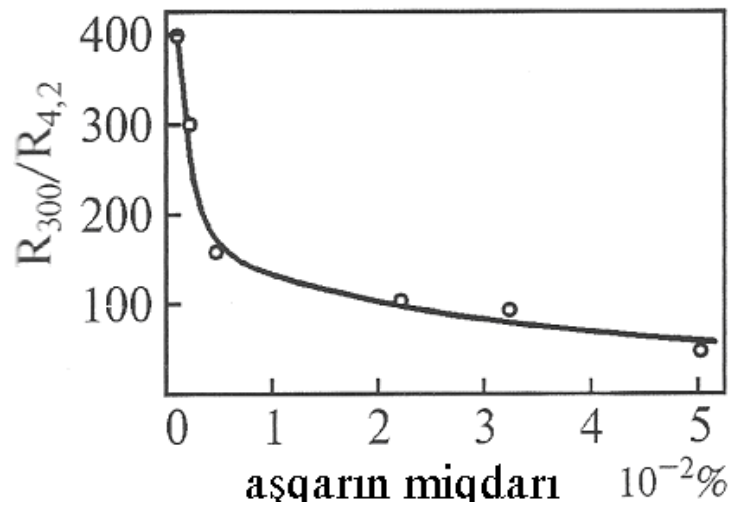
Şəkil 20. Plastik deformasiya zamanı 0,3% karbonlu poladın xüsusi elektrik müqavimətinin dəyişməsi.

Deformasiyanın sonrakı artımı əldə olunmuş minimuma nisbətən elektrik müqavimətinin artmasına səbəb olur ki, bu da ferrit matrisanın quruluşunun təhrif olunması ilə şərtlənir.

4. Rezistometriyanın metallofiziki tədqiqatlarda tətbiqi

Metalın təmizliyinə nəzarət. Tabı alınmış metalın qalıq müqaviməti əsasən aşqarların miqdarı ilə təyin edilir. Buna görə də otaq temperaturunda və 0K-ə yaxın temperaturda elektrik müqavimətini ölçərək, tam və qalıq elektrik müqavimətinin nisbətinə görə materialın təmizlik dərəcəsini qiymətləndirmək olar. Ölçməni 300 və 4,2K-də aparmaq qəbul edilmişdir. Bu halda metalın təmizlik kriteriyasını $R_{300}/R_{4,2}$ nisbəti oynayır.

Kiçik konsentrasiyalar oblastında bu nisbət aşqarın miqdarından kəskin asılıdır (şəkil 21). Yuxarıda göstərilən nisbətin qiyməti müxtəlif metal və aşqarlar üçün və aşqarların miqdarı kiçik olduqda geniş intervalda dəyişərək 10^5 çata bilər.

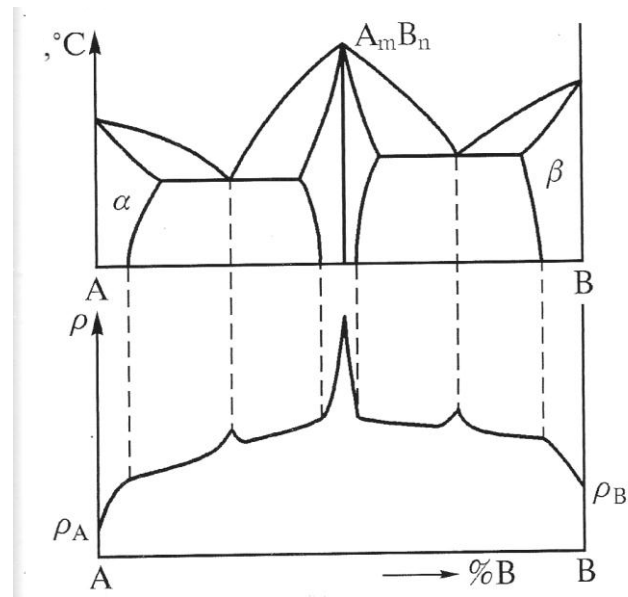


Şəkil 21. Karbon, azot və oksigen daxil olma aşqarlarının dəmirde $R_{300}/R_{4,2}$ nisbətində təsiri.

Hal diaqramının qurulması. İntermetallik birləşmələrin və aralıq fazaların əmələ gəlməsi zamanı həmçinin, heterogen quruluş oblastında bərk məhlulların elektrik müqavimətinin, konsentrasiyasının dəyişməsi ilə qanunauyğun dəyişməsi göstərir ki, xüsusi elektrik müqavimətinin konsentrasiya asılılığı və sistemin hal diaqramı arasında müəyyən əlaqə olmalıdır (şəkil 22).

Xüsusi elektrik müqavimətinin quruluşa həssaslığı bu əlaqəni bu və ya digər şəkildə mürəkkəbləşdirir. Şəkil 22-də göstərilmiş misalda eutektik konsentrasiya müqavimətin böyük olmayan pikinə uyğun gəlir ki, bu da eutektik kompozisiyanın yüksək dispersliyi ilə şərtlənmişdir.

Yuxarıda dediyimiz əlaqə, hal diaqramını qurmaq üçün rezistometriya metodlarından istifadə etməyə imkan verir. Misal olaraq, məhdud həll olunma xəttinin qurulmasına baxaq.

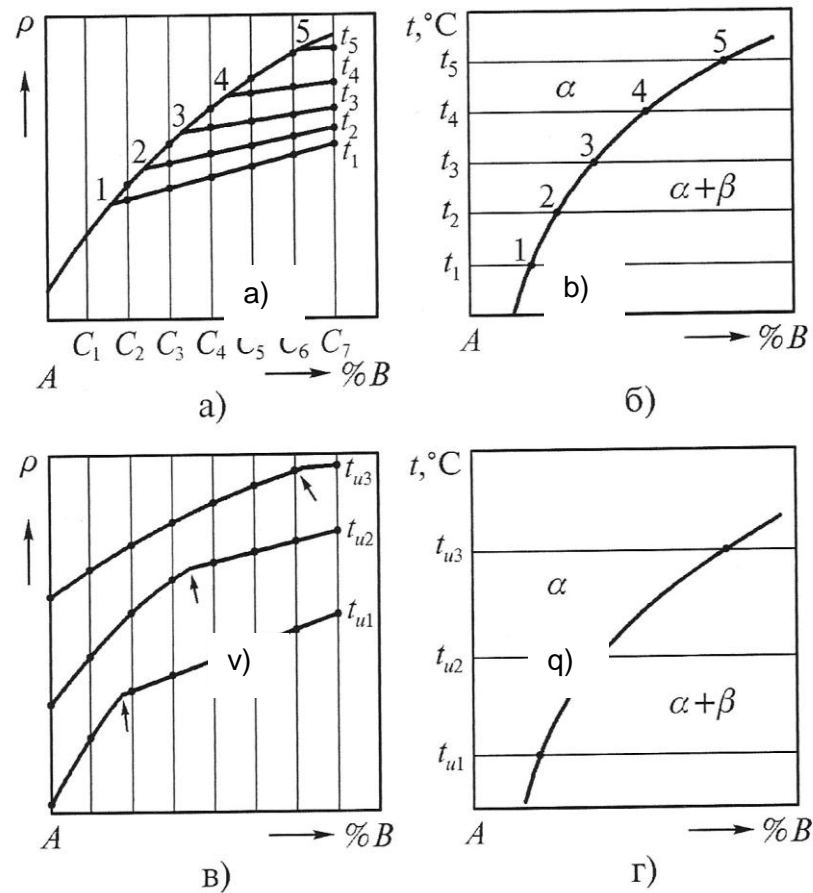


Şəkil 22. A-B sisteminin hal diaqramı və xüsusi elektrik müqavimətinin konsentrasiyadan asılılığının əlaqəsi (sxem).

Fərz edək ki, A-B sistemində A komponenti əsasında məhdud bərk α - məhlul əmələ gəlir. Əgər doymuş α - məhlul otaq temperaturunda dayanıqlıdırsa, adi şəraitdə tablanmış nümunələrin elektrik müqavimətini ölçməyə imkan verən tablama metodunu tətbiq etmək əlverişlidir.

B komponentinin konsentrasiyası müxtəlif olan bir neçə ərinti hazırlanır. Hər bir ərintidən olan nümunələr müxtəlif temperaturlardan tablanır və otaq temperaturunda elektrik müqaviməti ölçülür. Alınmış nəticələr hər bir tablama temperaturu üçün elektrik müqavimətinin konsentrasiyadan asılılığı şəklində göstərilir (şəkil 23, a).

Hər bir temperatur üçün $\rho(\%B)$ asılılığı iki hissədən ibarətdir: bir fazalı α -hala uyğun gələn əyri xətti və iki fazalı $\alpha+\beta$ oblasta uyğun olan praktiki düz xətt.



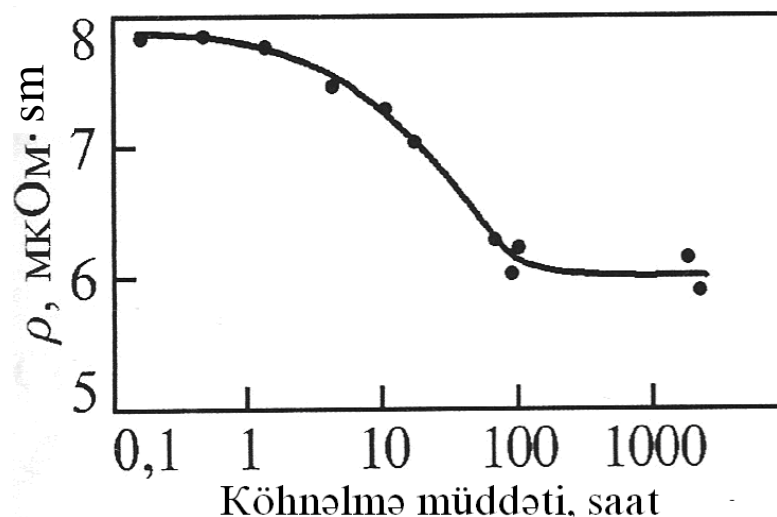
Şəkil 23. Müqaviməti ölçmək yolu ilə həll olma sərhəddinin təyini:
 a,b-tablama metodu: a- $t_1 < \dots < t_5$ temperaturlarından tablanmış nümunələrin otaq temperaturunda elektrik müqavimətinin konsentrasiya asılılığı; b-həll olmanın sərhəddi; v,q- yüksək $t_{u1} < t_{u2} < t_{u3}$ tempraturlarda müqavimətin ölçülməsi; v- t_{u1}, t_{u2}, t_{u3} tempraturlarında müqavimətin konsentrasiya asılılığı; q -həllolmanın sərhəddi.

Şəkil 23 a-da 1-5 rəqəmləri ilə qeyd olunmuş əyrinin sınma nöqtələri, $t_1 \dots t_5$ temperaturlarında həll olmanın sərhəddinə uyğun gəlir. $t_1 \dots t_5$ tablama temperaturlarının qiymətini və sınma nöqtələrinə uyğun gələn $B_1 \dots B_5$ konsentrasiyalarını " $t, ^\circ C - \%B$ " koordinatlarına çevirirlər və səlis əyri ilə birləşdirirlər (şəkil 23, b). bu əyri həll olmanın sərhəddi adlanır.

Əgər doymuş α -məhlul dayanıqsızdırsa və otaq temperaturunda parçalanırsa, onda müqavimətin ölçülməsini yuxarı temperaturalarda, məsələn $t_{u_1}, t_{u_2}, t_{u_3}$ (şəkil 23, v) temperaturalarında aparmaq lazımdır.

Bu halda həll olma sərhəddinə uyğun olan sınımlara malik $\rho(B)$ ayrilər seriyası alınacaq, lakin onların əyri xətti hissələri artıq bir-birinin üzərinə düşməyəcəkdir. Hər bir növbəti əyri əvvəlkindən yuxarıda yerləşəcəkdir. Belə ki, temperatur yüksəldikcə ölçülmüş elektrik müqaviməti artır. Şəkil 23, v-də oxlarla göstərilmiş sınma nöqtələrini “ $t_1^{\circ}C - \%B$ ” koordinatına köçürsək, A-nın B-də həll olma sərhəddini alarıq (şəkil 23, q).

Doymuş bərk məhlulların parçalanmasının öyrənilməsi. Doymuş bərk məhlulun parçalanması bir qayda olaraq, məhlulda ikinci komponentin konsentrasiyasının azalması ilə əlaqədar, elektrik müqavimətini azaldır. Müqavimətin azalması tablanmış poladların tab əksiltmə zamanı, alüminium ərintilərinin suni köhnəlməsi (şəkil 24) və bir çox digər hallarda müşahidə olunur.



Şəkil 24. AMQ 8 ərintisinin xüsusi elektrik müqavimətinin $150^{\circ}C$ -də köhnəlmə müddətindən asılılığı.

Ancaq, bəzi ərintilərin köhnəlməsi zamanı elektrik müqavimətinin artması müşahidə olunur ki, bunun da səbəbi müxtəlif ola bilər. Tablanmış Al-Cu ərintilərinin köhnəlməsi zamanı elektrik müqavimətinin artması, həll olunan mis atomlarının matrisasında submikroskopik toplanmalardan ibarət olan Qinye-Preston zonalarının əmələ gəlməsi ilə bağlıdır.

Yüksək dərəcədə legirlənmiş poladların köhnəlməsi zamanı yüksək xüsusi elektrik müqavimətinə malik fazanın (məsələn, karbidlərin) ayrılması nəticəsində elektrik müqavimətinin artması mümkündür.

Parçalanma dərəcəsi artdıqca və beləliklə bərk məhlulun ikinci komponentlə daha çox yoxsullaşması nəticəsində elektrik müqaviməti azalmalıdır.

Polad və digər ərintilərin termik emal zamanı faza çevrilmələrinin və struktur dəyişmələrinin öyrənilməsi. Xüsusi elektrik müqavimətinin quruluşa yüksək həssaslığı metallik ərintilərin quruluş dəyişmələrinin öyrənilməsi zamanı rezistometriya metodundan istifadə etməyə imkan verir.

Poladların elektrik müqavimətinin ən çox dəyişməsi martensitin əmələ gəlməsi və tab əksiltmə zamanı parçalanarkən baş verir. Poladın istənilən digər struktur təşkiledicisinə nisbətən martensitin elektrik müqaviməti daha böyükdür. Elektrik müqavimətinin böyük dəyişməsi ifrat soyudulmuş austenin müxtəlif mikroquruluşlar əmələ gəlməklə parçalanması zamanı müşahidə olunur.

Müəyyən tip quruluşda, kimyəvi tərkibindən asılı olaraq poladın xüsusi elektrik müqavimətini hesablamağa imkan verən empirik tənliklər məlumdur. Elektrik müqavimətinin quruluşa yüksək həssaslığı

nəticəsində bu ifadələr bu və ya digər dərəcədə təqribidirlər. Bəzi hesabat formulaları prinsipial xətalara malikdirlər. Məsələn, 0.9%-ə qədər karbona malik tabı alınmış poladın xüsusi elektrik müqavimətini 20°C-də bu formula ilə hesablamaq təklif olunur:

$$\rho_{tab.al.} = 10,5 + 3p + 2p^2 \quad (42)$$

850°C-dən tablanmış poladın (karbonun miqdarı 1% -ə qədər) xüsusi elektrik müqaviməti

$$\rho_{tab.} = 10.3 + 1.6p + 12.6p^2 \quad (43)$$

1100°C-dən tablanmış poladın xüsusi elektrik müqaviməti

$$\rho_{tab.} = 10.3 + 9.3p + 7.4p^2 \quad (44)$$

Bu formulalarda p-karbonun kütləyə görə %-lə miqdarı, ρ -mkOm.sm-lə xüsusi müqavimətidir. (42) və (43) formulalarının müqayisəsi belə nəticəyə gətirir ki, p=0 olduqda tabı alınmış dəmirin elektrik müqaviməti 850°C-dən tablanmış dəmirə nisbətən böyükdür ki, bu da ola bilməz. 850 və 1100°C-dən tablanmış dəmirin elektrik müqavimətləri ((43) və (44) formulaları) eyni ola bilməz. ~0.3%-ə qədər karbona malik poladın 850°C-dən tablanması $\alpha+\gamma$ oblastından, böyük miqdarda karbona malik poladların tablanması isə γ -olbastından icra edilir. Bu məsələ (43) formulasında öz əksini tapmamışdır.

Gətirilmiş misal göstərir ki, (42)-(44) və onlara oxşar ifadələrin istifadə olunması ciddi xətalara yol verə bilər. Elektrik müqavimətinin quruluşa həssaslığı, nadir hallar istisna olmaqla, elektrik müqavimətinin ölçülməsi metodundan fazaların həcm payını və ya struktur təşkilçilərini dəqiq təyin etmək üçün istifadə etməyə imkan vermir. Lakin rezistometrik metodla çevrilmənin başlanma və sona çatma anaları kifayət qədər dəqiqliklə təyin edilə bilər

Ə D Ə V İ Y U A T

1. Л.Г.Журавлев, В.И. Филатов. Физические методы исследование металлов и сплавов. Учебник для студентов мет. специальности. Челябинск Изд.ЮУрГУ, 2004
2. Лифшиц В.Г.и др. Физические свойства металлов и сплавов Металлургия,1980
3. Металловдение и термические обработка стали. Справ.изд.3-е перераб. и доп. В 3-х Т. Т.1. Методы испытаний и исследования. Под ред.Беренштейна М.Л., Рахштата А.Ф. М.Металлургия, 1983.
4. Pənahov T.M. Eksperimentin texnikası. Bakı,AzTU , 1997.
5. Физические методы исследование материалов. Том 1. под редакций академика С.Т.Кишкина. М. Машиностроение. 1971.
6. Чечерников В.И. Магнитные измерение-2-е изд. Под ред. Е.И.Кондорского- М.Изд-во Моск. ун-та. 1969
7. Апаев В.А. Фазовый магнитный анализ сплавов.-М. Металлургия,1976
8. Fizikadan laboratoriya praktikumu. Dərs vəsaiti(I hissə).Prof.T.M.Pənahovun elmi redaktorluğu ilə. Bakı, 2006
9. Fizikadan laboratoriya praktikumu. Dərs vəsaiti(II hissə).Prof.T.M.Pənahovun elmi redaktorluğu ilə. Bakı,2006