

MASZYNY ELEKTRYCZNE

Elektrotermia jest działem nauki i techniki zajmującym się przemianami energii elektrycznej w ciepło do celów użytkowych.

Zawarte w tej definicji ograniczenie obszaru elektrotermii wyłącza z jej pola widzenia **przemiany niezamierzone, stanowiące efekt uboczny**, co wiąże się ze stratami cieplnymi.

Istnieje jeszcze inne ograniczenie eliminujące z elektrotermii problematykę **spawalnictwa elektrycznego oraz zgrzewania rezystancyjnego**, a więc problematykę opartą na bezpośrednim przepływie prądu przez elementy zgrzewane. Inne rodzaje zgrzewania, np. prądami wielkiej częstotliwości i ultradźwiękowego, tradycyjnie są włączane do elektrotermii.

Przemiany elektrotermiczne mają charakter autonomiczny lub występują równocześnie z innymi rodzajami przemian energetycznych np. paliw w ciepło bądź energii elektrycznej w inną postać energii. Takie przemiany nazywa się skojarzonymi. Skojarzone mogą być także poszczególne przemiany elektrotermiczne, o ile opierają się na różnych zasadach konwersji energii elektrycznej w ciepło.

Nagrzewanie elektryczne jest to technika wytwarzania i wykorzystywania ciepła z energii elektrycznej.

Problematyka nagrzewania elektrycznego nie ogranicza się więc do technik wytwarzania ciepła z energii elektrycznej, lecz obejmuje także zagadnienia wykorzystywania tego ciepła we wszystkich obszarach działalności człowieka.

Urządzenie elektrotermiczne jest to zespół środków technicznych przeznaczonych do przekształcania energii elektrycznej w ciepło oraz do wykorzystania go w procesach grzejących.

Środkami tymi są człony zasilające, przekształcające, grzejne, załadunku i transportu wsadu, pomiarowe, regulacyjne oraz inne wyposażenie elektryczne i nieelektryczne ułatwiające lub polepszające pracę urządzenia elektrotermicznego. Człony przekształcające służą do przetwarzania energii elektrycznej na taką jej postać, która sprzyja uzyskaniu wymaganego stanu cieplnego, np. określonego pola temperatury, stanu skupienia wsadu itp. Człony grzejne to podstawowe elementy urządzeń elektrotermicznych i w nich dokonuje się przemiana energii elektrycznej w ciepło. Urządzenia elektrotermiczne są jednostkami autonomicznymi - lub jako elementy wyposażenia - wchodzi w skład innych urządzeń i wtedy bywają nazywane **elektrycznymi urządzeniami grzejącymi**.

Kryterium sposobu nagrzewania umożliwia wyodrębnienie:

1. nagrzewania bezpośredniego,
2. nagrzewania pośredniego.

Nagrzewanie elektryczne bezpośrednie jest to nagrzewanie elektryczne znamienne tym, że przemiana energii w ciepło odbywa się w obszarze nagrzewanym (wsadzie), w którym rozprzestrzenia się ono zgodnie z prawami termodynamiki.

Nagrzewanie elektryczne pośrednie jest to nagrzewanie elektryczne znamienne tym, że przemiana energii w ciepło dokonuje się poza obszarem nagrzewanym (wsadem), a do obszaru tego jest dostarczane zgodnie z prawami termodynamiki.

Według tego samego kryterium wyróżnia się dwa rodzaje urządzeń elektrotermicznych: bezpośrednie i pośrednie, których działanie opiera się odpowiednio na nagrzewaniu elektrycznym bezpośrednim i pośrednim.

Kryterium metody nagrzewania prowadzi do klasyfikacji najbardziej uniwersalnej. Według tego kryterium wyodrębnia się obecnie 12 metod nagrzewania, a mianowicie:

- 1) rezystancyjną,
- 2) promiennikową,
- 3) elektrodową,
- 4) łukową,
- 5) indukcyjną,
- 6) pojemnościową,
- 7) mikrofalową,
- 8) plazmową
- 9) elektronową,
- 10) fotonową
- 11) jonową,
- 12) ultradźwiękową.

Odpowiednio wyróżnia się 12 rodzajów urządzeń poczynając od rezystancyjnych, a kończąc na ultradźwiękowych o działaniach opartych na wymienionych metodach nagrzewania.

Kryterium cyklu nagrzewania pozwala na wyodrębnienie nagrzewania:

- 1) przerywanego,
- 2) okresowego,
- 3) ciągłego.

Kryterium obszaru zastosowań jest podstawą wyróżnienia urządzeń przeznaczonych do pracy w:

- 1) przemyśle,
- 2) rolnictwie,
- 3) transporcie,
- 4) budownictwie,
- 5) medycynie,
- 6) w gospodarce komunalno-bytowej i rzemiośle (tzw. elektryczne narzędzia i przyrządy grzejne powszechnego użytku)

Kryterium technologii prowadzi do bardzo obszernej listy klasyfikacyjnej, która nie jest zamknięta. Najważniejsze elementy tej listy to nagrzewanie związane z:

- 1) obróbką cieplną,
- 2) obróbką plastyczną,
- 3) topieniem,
- 4) cięciem,
- 5) drążeniem,
- 6) suszeniem,
- 7) spawaniem,
- 8) zgrzewaniem,
- 9) spajaniem,
- 10) lutowaniem,
- 11) klejeniem,
- 12) ogrzewaniem.

Urządzenia przeznaczone do realizacji jednej z wymienionych technologii nie zawsze nazywane są jednowyrazowymi terminami o charakterze uniwersalnym, w sposób jednoznacznie informujący o ich przeznaczeniu (np. urządzenia do obróbki cieplnej). W użyciu są terminy (np. lutowanie) nie mające charakteru uniwersalnego, ponieważ niektóre metody lutowania realizowane są w urządzeniach nie nazywanych lutownicami.

Kryterium konstrukcji urządzenia jest jednym z podstawowych kryteriów i umożliwia podział wszystkich urządzeń elektrotermicznych w sposób następujący:

1. urządzenia elektrotermiczne komorowe,
2. urządzenia elektrotermiczne bezkomorowe.

Urządzenie elektrotermiczne komorowe jest to urządzenie, którego człon podstawowy, czyli grzejny, zawiera komorę przeznaczoną do umieszczenia w niej wsadu w celu jego nagrzania.

Zasadniczym przeznaczeniem komory, czyli przestrzeni otoczonej ścianami, jest nie tylko podniesienie sprawności procesu grzejnego przez zmniejszenie strat cieplnych, lecz także utrzymanie wymaganego środowiska wsadu (atmosfery sztucznej, próżni technicznej, cieczy, złoża fluidalnego) oraz właściwych parametrów tego środowiska.

Członami grzejnymi tych urządzeń są piece, cieplarki, suszarki, warniki, parniki, szereg przyrządów grzejných powszechnego użytku zawierających komory itd. Człony grzejne są niekiedy jedynymi członami urządzenia elektrotermicznego komorowego, które może zawierać ponadto człony zasilające, generatory atmosfer, wanny hartownicze, przedsionki itd.

Urządzenie elektrotermiczne bezkomorowe jest to urządzenie, którego człon podstawowy, czyli grzejny, umożliwia nagrzewanie wsadu bez umieszczania go w komorze.

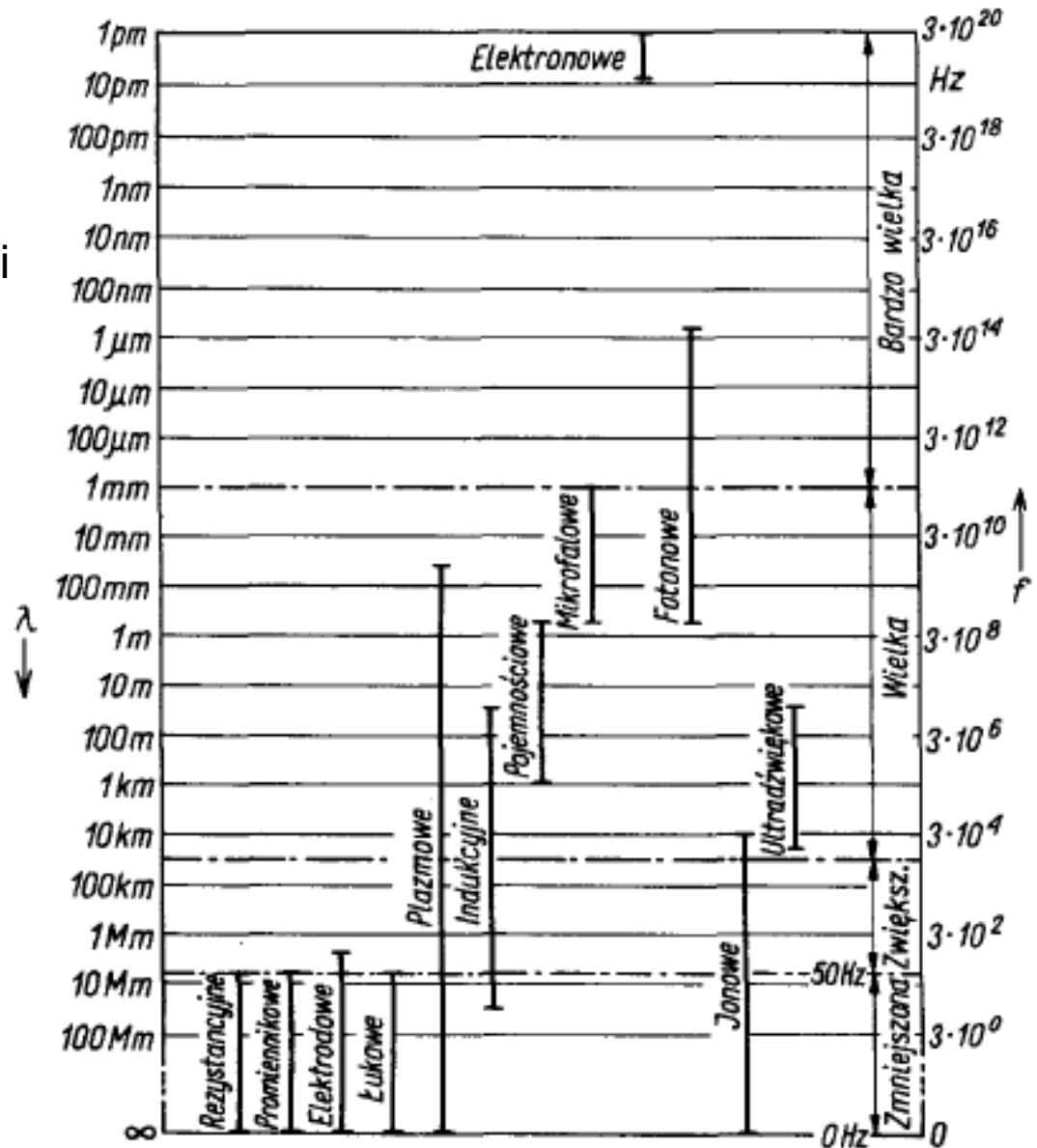
Członami grzejnymi takich urządzeń są nagrzewnice, różne rodzaje narzędzi grzejných powszechnego użytku, ogrzewacze. I w tych przypadkach człon grzejny bywa często jedynym członem urządzenia. Jeżeli człony takie stanowią wyposażenie urządzeń nie zaliczanych do elektrotermicznych, to można je włączyć do elektrycznych urządzeń grzejných bezkomorowych.

Kryterium charakteru urządzenia umożliwia klasyfikację, która miała istotne znaczenie raczej w przeszłości. Na jego podstawie wyróżnia się urządzenia:

- 1) elektroniczne,
- 2) nieelektroniczne.

Kryterium częstotliwości roboczych umożliwia wyróżnienie nagrzewania i urządzeń o następujących częstotliwościach zmian wartości wielkości fizycznej odpowiedzialnej za wytworzenie ciepła:

- 1) zerowej,
- 2) zmniejszonej (małej) ($0 \text{ Hz} < f < 50 \text{ Hz}$),
- 1) sieciowej (50 Hz),
- 2) zwiększonej (średniej) ($50 \text{ Hz} < f \leq 10 \text{ kHz}$),
- 1) wielkiej ($10 \text{ kHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$),
- 2) bardzo wielkiej ($300 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ EHz}$); $1 \text{ EHz} = 10^{18} \text{ Hz}$.



Kryterium środowiska wsadu prowadzi do podziału rodzajów nagrzewania i urządzeń znamienych ośrodkiem, w którym odbywa się proces grzejny.

Wyróżnia się nagrzewanie w:

- 1) atmosferze naturalnej,
- 2) atmosferze sztucznej,
- 3) próżni technicznej,
- 4) cieczy,
- 5) złożu fluidalnym.

Kryterium kinetyki wsadu. Zgrubny podział nagrzewania i urządzeń według tego kryterium sprowadza się do dwóch ich rodzajów:

- 1) nieprzelotowego,
- 2) przelotowego.

Przy nagrzewaniu nieprzelotowym wsad zajmuje w urządzeniu stałą przestrzeń, przy przelotowym wsad ulega przemieszczaniu.

NAGRZEWANIE REZYSTANCYJNE

Nagrzewanie rezystancyjne (oporowe) jest to nagrzewanie elektryczne wykorzystujące efekt Joule'a w ośrodku przewodzącym stałym, połączonym galwanicznie ze źródłem energii.

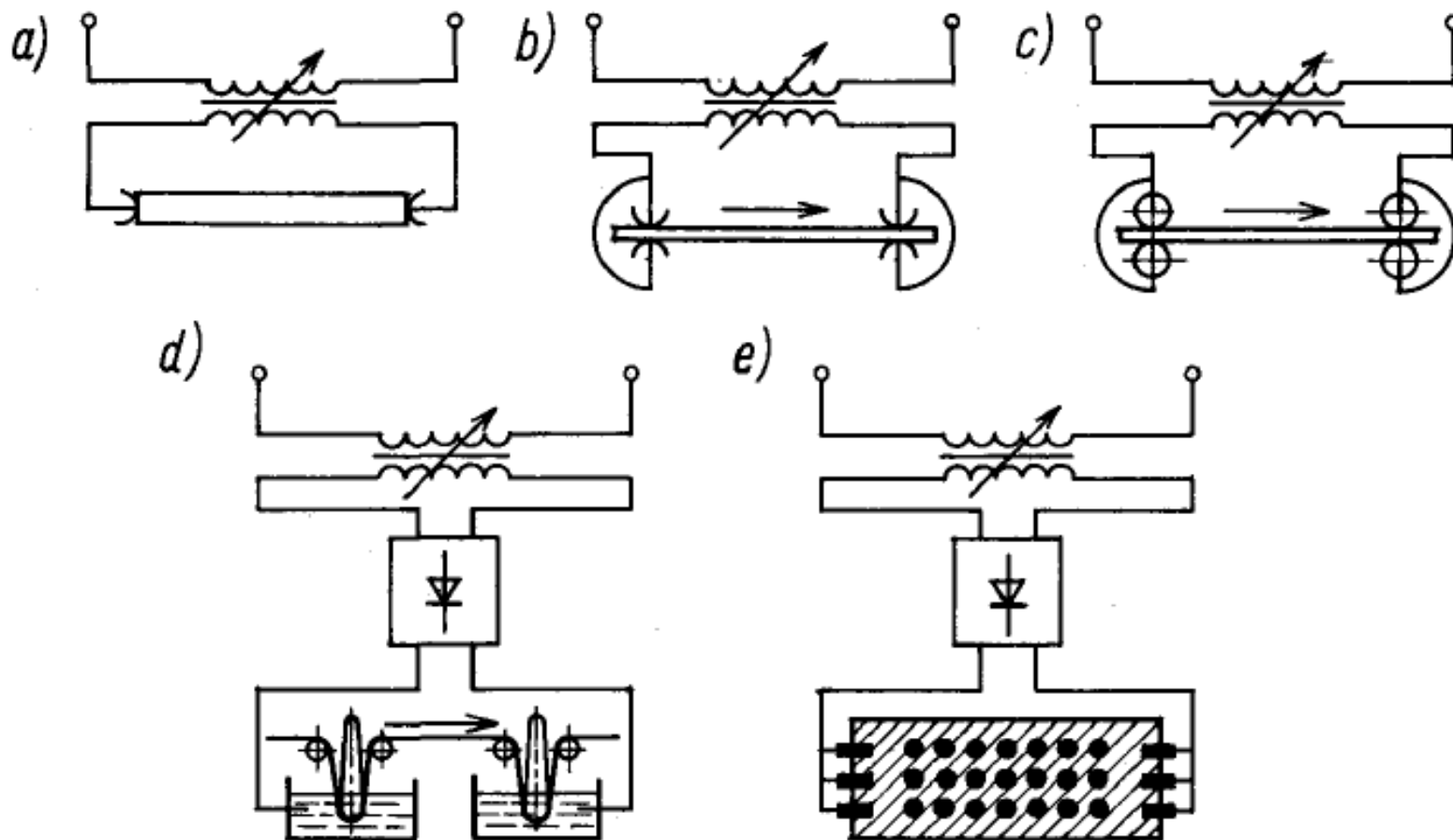
W nagrzewaniu rezystancyjnym wykorzystuje się prąd przewodzenia polegający na przemieszczaniu się elektronów swobodnych w ośrodku przewodzącym pod wpływem pola elektrycznego. Energia niesiona przez elektrony w czasie przepływu prądu przewodzenia ujawnia się pod postacią energii cieplnej.

Może to być wynikiem trzech zjawisk: Peltiera, Thomsona oraz Joule'a-Lenza. Dwa pierwsze zaliczają się do procesów odwracalnych i w elektrotermii mają znaczenie podrzędne, ponieważ towarzyszące im zjawiska cieplne, w porównaniu z będącym wynikiem nieodwracalnego procesu Joule'a-Lenza, są na ogół pomijalne.

Urządzenie rezystancyjne bezpośrednio jest to urządzenie elektrotermiczne, znamienne tym, że ciepło Joule'a jest wytwarzane w ośrodku (wsadzie), którego podwyższenie temperatury stanowi cel procesu grzejnego.

Procesy grzejne są realizowane w bardzo zróżnicowanych układach. Spośród nich wyodrębnić można układy bezkomorowe, których członem grzejnym jest np. nagrzewnica, i komorowe z członem grzejnym np. w postaci pieca.

W grupie układów bezkomorowych wyróżnić można układy nieprzelotowe z nieruchomym wsadem i z nieruchomymi stykami oraz układy przelotowe ze wsadem ruchomym i stykami ślizgowymi, obrotowymi lub cieczowymi. W układach komorowych przeważają układy nieprzelotowe, znamienne tym, że wsad całkowicie wypełnia komorę grzejną.



Rezystancyjne układy grzejne bezpośrednie:

- a) bezkomorowy nieprzelotowy ze stykami stałymi, b) bezkomorowy przelotowy ze stykami ślizgowymi, c) bezkomorowy przelotowy ze stykami rolkowymi, d) bezkomorowy przelotowy ze stykami cieczowymi, e) komorowy

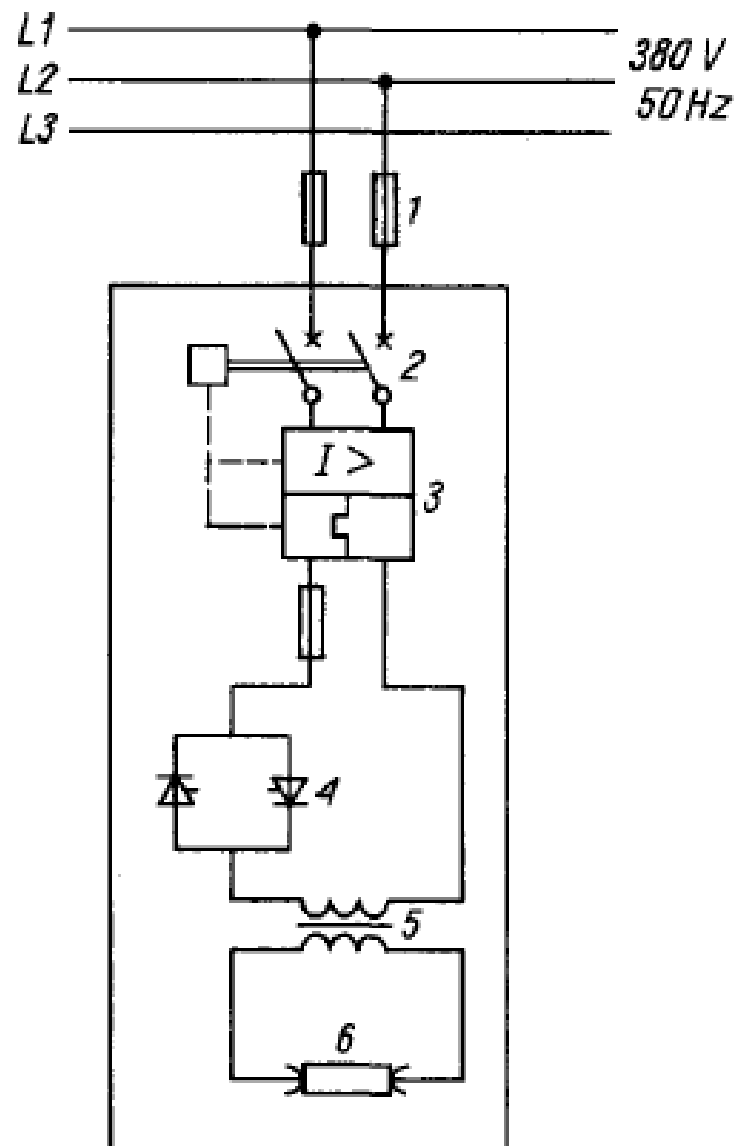
Przy nagrzewaniu w układach nieprzelotowych i wymaganiu równomierności pól temperatur w każdym przekroju poprzecznym, klasa nagrzewanych wsadów musi być ograniczona. W przypadku tym wsad powinien mieć jednakowe właściwości elektryczne, magnetyczne i cieplne wzdłuż drogi przepływu prądu oraz jednakowy przekrój. Warunek równomierności pól temperatury jest wówczas realizowany, jednak z pewnymi odchyleniami w obszarze styków. Wspomniane ograniczenie nie obejmuje układów komorowych, ponieważ prowadzone w nich procesy są na ogół długotrwałe, co sprzyja wyrównaniu temperatur w piecu w wyniku przewodnictwa cieplnego materiałów wsadowych. W układach przelotowych warunek jednakowego przekroju jest oczywisty nie tylko ze względów cieplnych lecz także konstrukcyjnych. Istotna różnica między nagrzewaniem przelotowym i nieprzelotowym polega na rozkładzie temperatur wzdłuż drogi przepływu prądu. W pierwszym przypadku obrazy pól temperatury w dowolnym przekroju poprzecznym powinny być identyczne. W przypadku drugim temperatura wsadu rośnie wzdłuż drogi przepływu prądu od najniższej przy stykach wejściowych do najwyższej (znamionowej) przy stykach wyjściowych

Bez względu na rodzaj układu grzejnego, każde urządzenie rezystancyjne bezpośrednie bezkomorowe składa się z następujących elementów: nagrzewnicy (człon grzejny urządzenia), zasilacza, podajnika, aparatury kontrolno-pomiarowej. Stosowane są zasilacze zmiennoprądowe i stałoprądowe.

Typowy zasilacz zmiennoprądowy jest układem jednofazowym, wyposażonym w tyrystorowy regulator napięcia lub w transformator z odczepami.

Schemat elektryczny urządzenia rezystancyjnego bezpośredniego bezkomorowego z ciągłą regulacją napięcia

1 - zabezpieczenia, 2 - wyłącznik, 3 - przekaźniki zabezpieczające, 4 - tyrystory, 5 - transformator wielkoprądowy, 6 - wsad



Napięcie wtórne transformatora wielko- prądowego zawarte jest na ogół w przedziale $5 \div 150$ V. Urządzenie jest zasilane z sieci o napięciu ≤ 10 kV. O ile jego moc jest bardzo duża, dodaje się drugi transformator połączony szeregowo o wyższym napięciu pierwotnym, przy czym obie jednostki umieszcza się na ogół w tej samej kadzi. Natężenia prądów grzejnych osiągają wartość 130 kA zaś moc urządzeń - 12 MV·A

Nagrzewnica rezystancyjna jest z reguły odbiornikiem jednofazowym. Wprawdzie znane są rozwiązania układów grzejnych nieprzelotowych z trzema równocześnie eksploatowanymi nagrzewnicami oraz układy przelotowe zasilane z transformatorów trójfazowych ale większość nagrzewnic jest zasilana z transformatorów jednofazowych. W przypadku gdy mogą one powodować niedopuszczalną asymetrię obciążenia sieci, stosuje się układy symetryzacyjne. Na ogół wykorzystuje się do tego celu układ Steinmetza. Przy równoczesnej eksploatacji dwóch jednakowych nagrzewnic rezystancyjnych stosuje się układ symetryzacyjny Scotta.

Ważnym podzespołem nagrzewnicy są styki. Bez względu na rodzaj układu grzejnego, rozwiązanie doprowadzenia prądu do wsadu stanowi jeden z najtrudniejszych problemów. Wyróżnić można styki nieruchome, ślizgowe, rolkowe, cieczowe i półsuche.

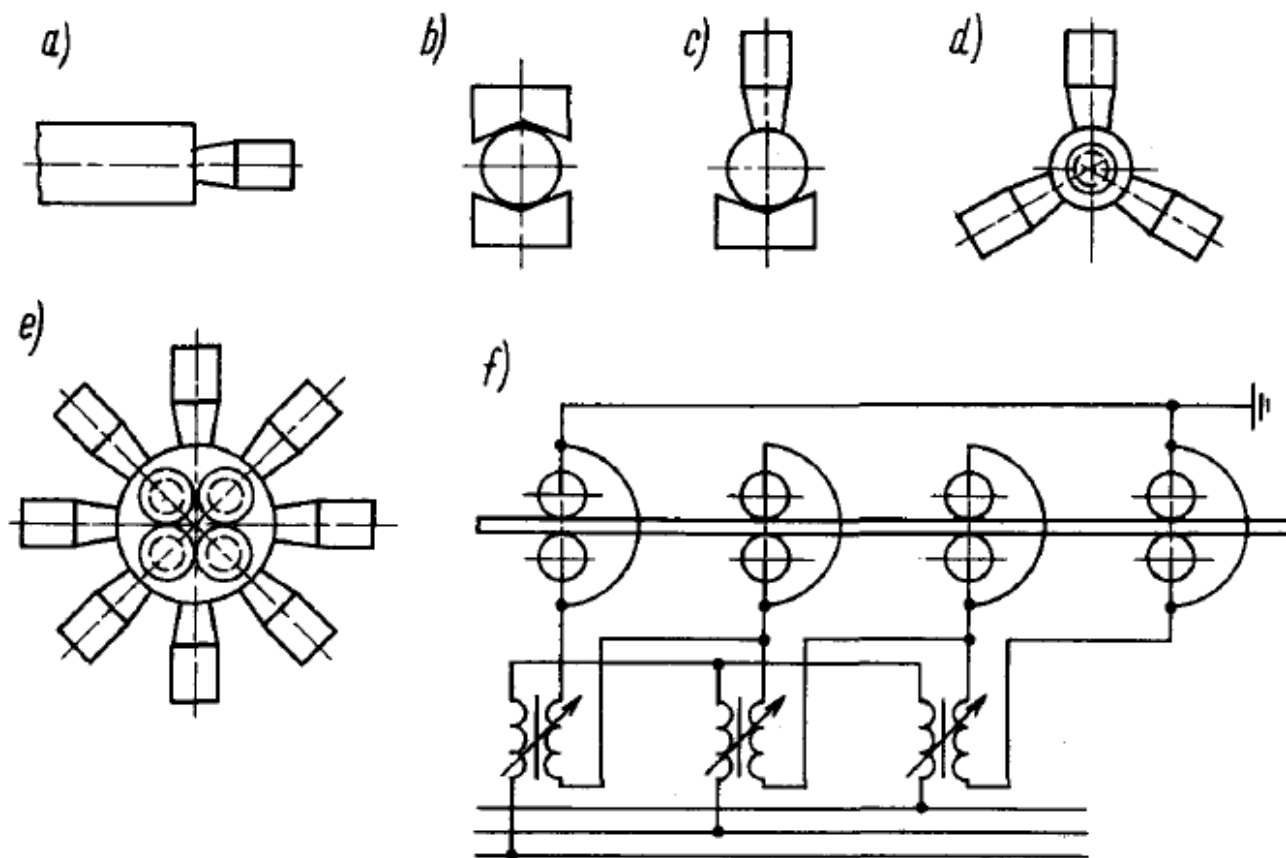
Styki nieruchome są stosowane w układach nieprzelotowych, pozostałe cztery rodzaje - w układach przelotowych, a więc z reguły przy mniejszych natężeniach prądu.

Styki nieruchome, zwłaszcza w układach dużej mocy, są dociskane do wsadu hydraulicznie lub pneumatycznie. Ze względu na wydłużanie się wsadu podczas nagrzewania, styki powinny być ruchome, co sprawia że tor wielkoprądowy musi mieć część giętką. W nowoczesnych rozwiązaniach stosuje się do tego celu kable chłodzone wodą. Styki mają na ogół kilka kontaktów. W układach nieprzelotowych stosuje się zarówno kontakty boczne jak i czołowe. Trwałość styków przekracza obecnie 150 000 cykli grzejnych

Dobór rodzaju styków w układach przelotowych zależy od wartości prądu grzejnego oraz wymagań dotyczących stanu powierzchni wsadu po nagraniu. Jeśli na powierzchni wsadu dopuszcza się ślady wyładowań elektrycznych powstających wskutek niedoskonałości połączenia elektrycznego styk-wsad, styki rolkowe i ślizgowe stosuje się bez ograniczeń prądu grzejnego. Jeśli ślady takie są niedopuszczalne, styki te można stosować przy prądach grzejnych nie przekraczających 500 A.

Styki rolkowe wykonuje się głównie z miedzi i stali stopowych. Wadą miedzi jest jej niewielka odporność na ścieranie. Wadami stali są nienajlepsza przewodność i przewodność cieplna właściwa. Lepsze właściwości mają stopy Cu-Cr-Zr oraz Cu-Co-Be, które stosowane są także na styki nieruchome. Ich wadą jest wysoka cena. Styki ślizgowe wykonuje się prawie zawsze z miedzi lub z grafitu.

W stykach cieczowych - jako medium kontaktowe - stosuje się ciekły ołów, cynę, roztopione sole i ługi.



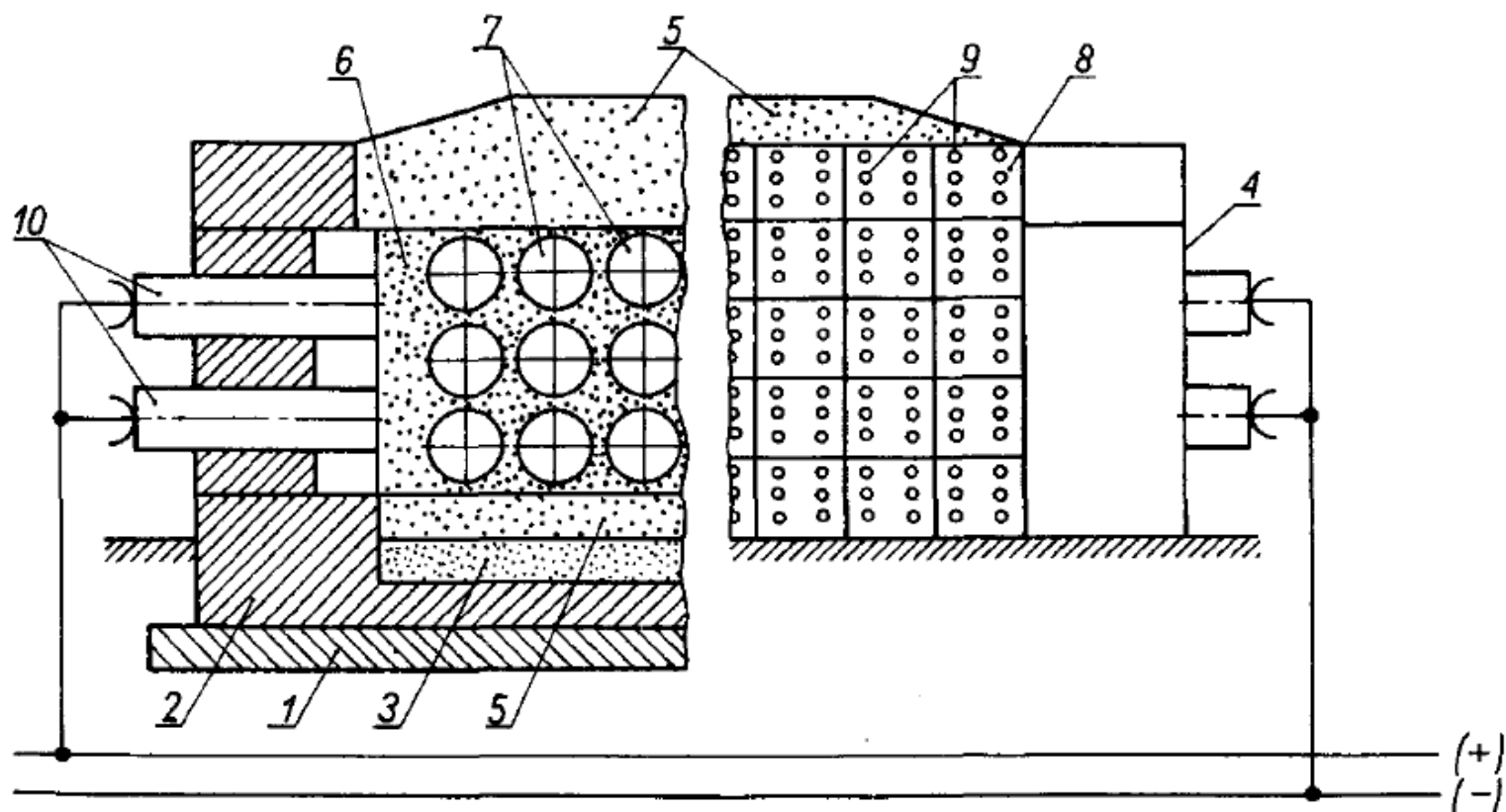
Rozłożenie kontaktów w stykach nagrzewnicy rezystancyjnej bezpośredniej: a) kontakt czołowy; b), c) dwa kontakty boczne; d) trzy kontakty boczne i jeden czołowy; e) osiem kontaktów bocznych i cztery czołowe; f) osiem kontaktów bocznych w układzie przelotowym trójfazowym

URZĄDZENIA REZYSTANCYJNE BEZPOŚREDNIE KOMOROWE

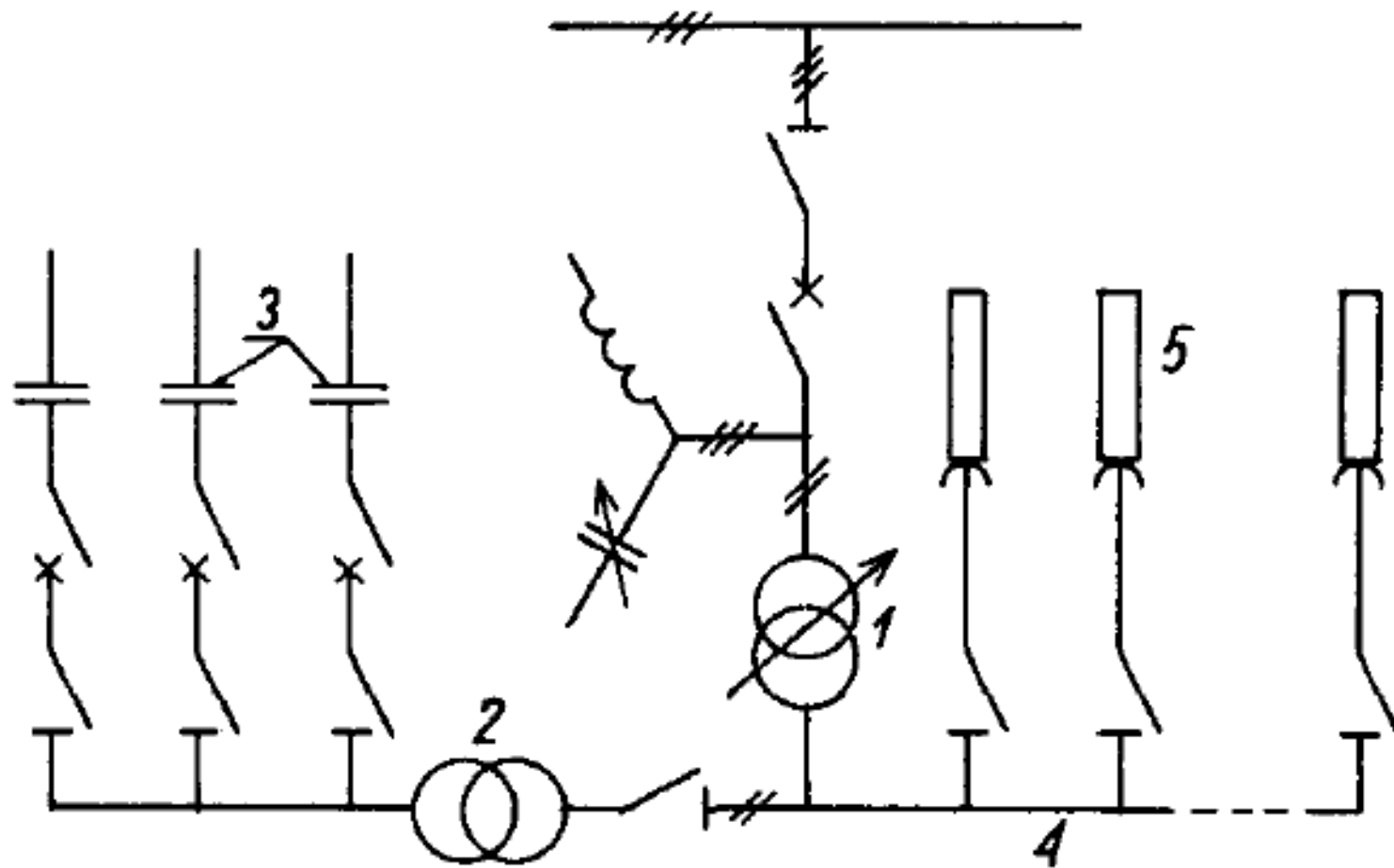
Kalcynacja jest to proces obróbki cieplnej koksów naftowych, koksu pakowego oraz złomu elektrod niegrafitowanych w temperaturze nie przekraczającej 1400°C , prowadzony w atmosferze obojętnej lub redukcyjnej. Jeśli proces ten jest realizowany w piecach elektrycznych (może być w paliwowych), to mają one kształt cylindryczny, ustawione są pionowo i wyłożone materiałem ogniotrwałym. Są to piece trójstrefowe przelotowe o wysokości około 10 m i średnicy zewnętrznej ok. 2 m. Nagrzewanie odbywa się w strefie środkowej przy bezpośrednim przepływie prądu przez wsad. Energia elektryczna jest doprowadzana do wsadu za pomocą dwóch chłodzonych wodą węglowych elektrod pierścieniowych, zlokalizowanych na krańcach strefy środkowej. Moc typowego urządzenia do kalcynacji jest rzędu $250 \text{ kV}\cdot\text{A}$. Zasilanie prądem przemiennym z transformatora jednofazowego o regulowanym napięciu wtórnym w zakresie $80 \div 220 \text{ V}$.

Grafityzacja (grafitowanie) jest to proces wysokotemperaturowej obróbki cieplnej materiałów węglowych w celu nadania im struktury polikrystalicznej. Stopień uporządkowania struktury krystalicznej (stopień grafityzacji) przekracza 60%. Grafityzacji poddaje się materiał węglowy będący wieloskładnikową mieszaniną wstępnie wypaloną w procesie nieelektrycznym. Technologia grafityzacji polega na powolnym nagrzewaniu wsadu węglowego do temperatury $2500 \div 2800^{\circ}\text{C}$, przy czym proces porządkowania struktury krystalicznej zaczyna się dopiero po przekroczeniu 2000°C .

Znane metody grafityzacji opierają się wyłącznie na wykorzystaniu energii elektrycznej, przy czym najbardziej rozpowszechnioną jest metoda Achesona, realizowana w piecach nieprzelotowych. Urządzenie do grafityzacji składa się z układu zasilającego zmienno- lub stałoprądowego wraz z torem wielkoprądowym, zespołu pieców, wyposażenia do załadunku i rozładunku pieców, urządzeń do usuwania gazów wydzielających się z nagrzewanego rdzenia i zasypki izolacyjnej oraz wyposażenia pomocniczego. Układ zmiennoprądowy jest wyposażony w baterię kondensatorów do kompensacji mocy biernej i w razie potrzeby w symetryzator obciążenia sieci.

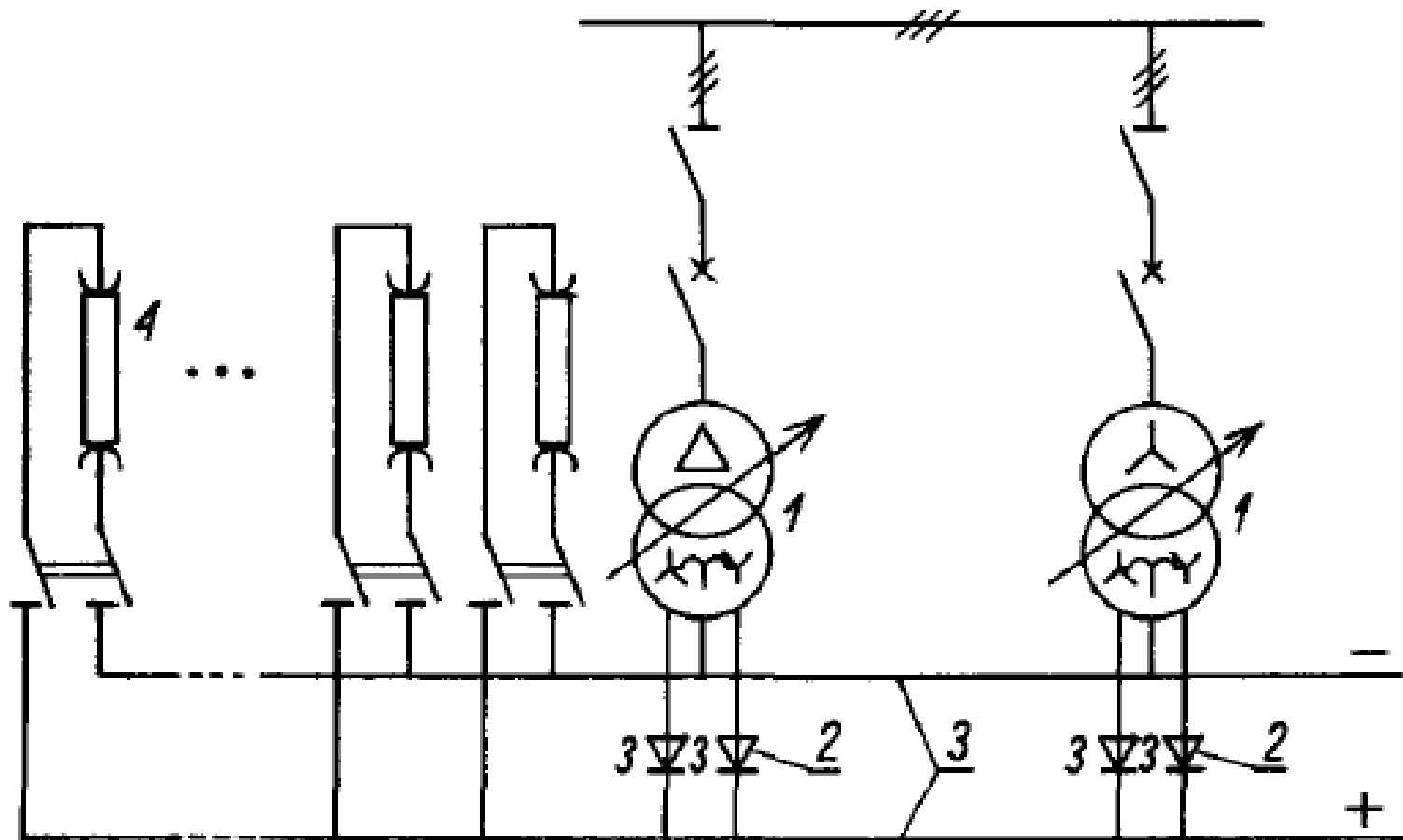


Schemat pieca Achesona do grafityzacji elektrod zasilanego prądem stałym
 1 - fundament, 2 - wymurówka ogniotrwała, 3 - suchy piasek, 4 - ściana czołowa nierozbieralna, 5 - zasyпка termoizolacyjna, 6 - zasyпка oporowa, 7 - wsad (elektrody cylindryczne), 8 - ściana boczna rozbieralna, 9 - otwory do odprowadzania gazów, 10 - elektrody doprowadzające prąd do rdzenia



Zmiennoprądowy układ zasilania pieców Achesona

1 - transformator piecowy, 2 - transformator kompensacji, 3 - bateria kondensatorów kompensacji, 4 - tor wielkoprądowy, 5 – piece



Stałoprądowy układ zasilania pieców Achesona

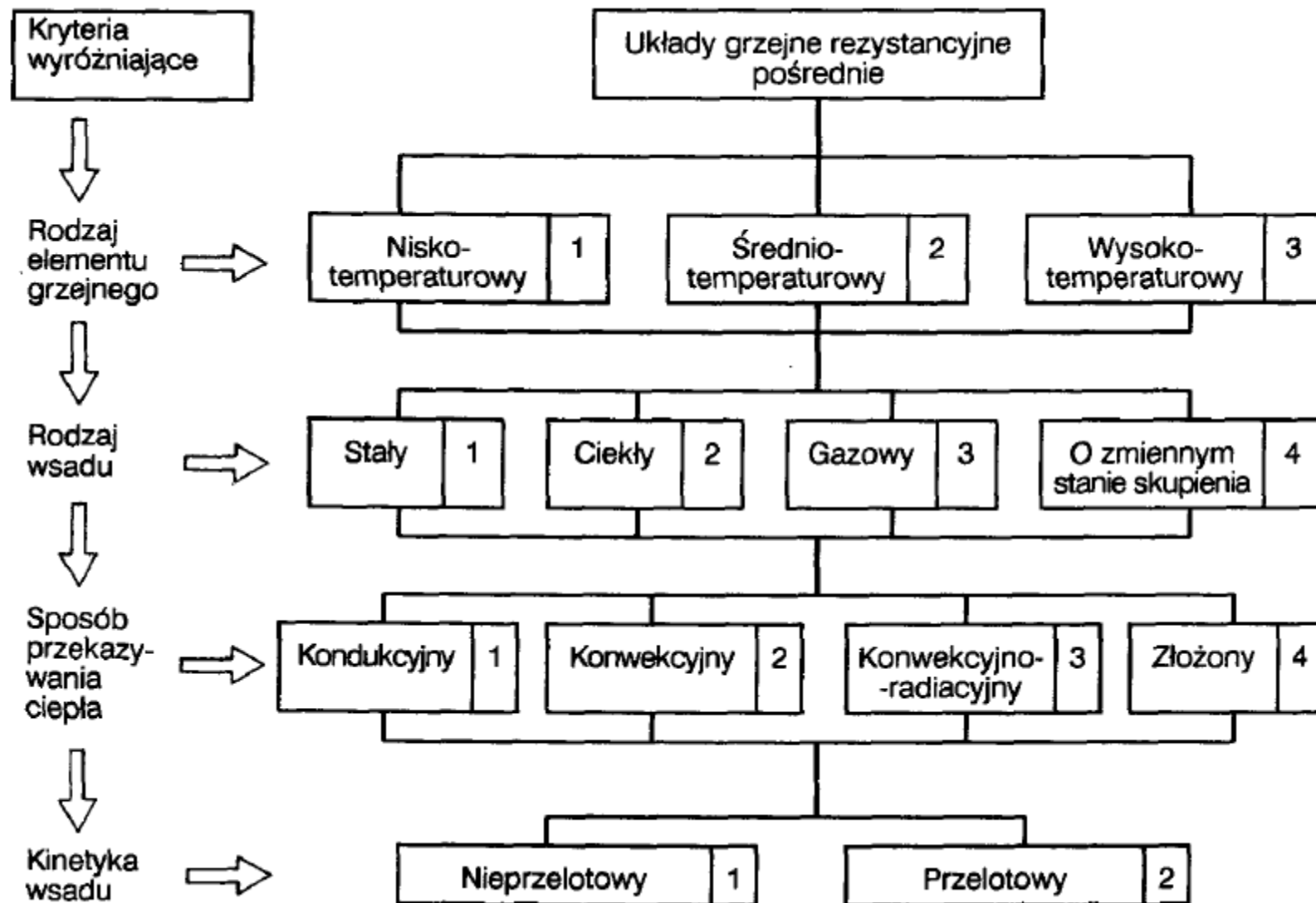
- 1 - transformator piecowy, 2 - bateria prostowników, 3 - tor wielkoprądowy,
4 - piece Achesona

URZĄDZENIA REZYSTANCYJNE POŚREDNIE I ICH ZASTOSOWANIA

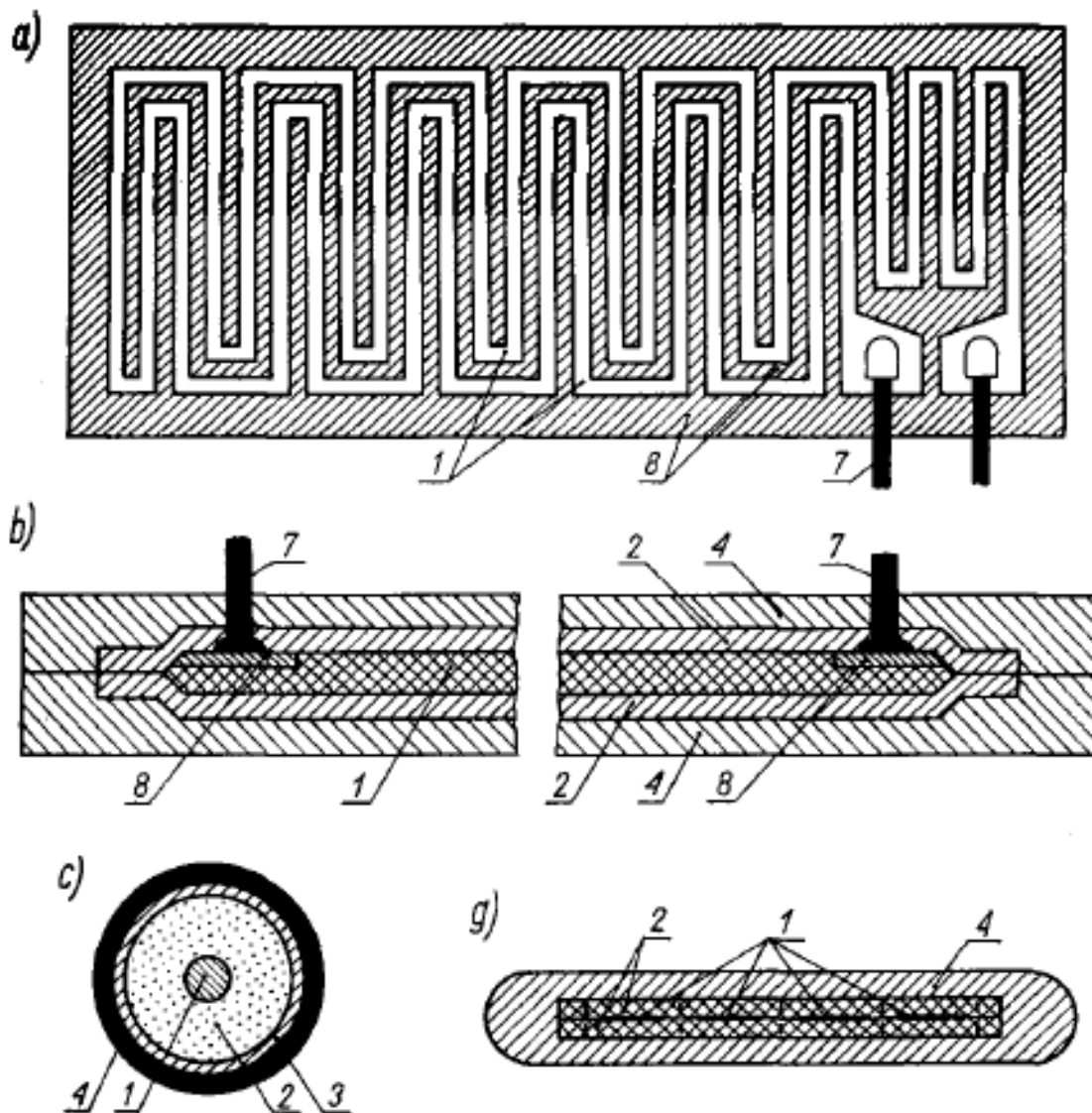
Urządzenia rezystancyjne pośrednie są to urządzenia znamienne tym, że przemiana energii elektrycznej w ciepło Joule'a odbywa się w rezystorze grzejnym stanowiącym źródło ciepła skąd przenoszone jest ono drogą termokinetyczną do wsadu lub obszaru nagrzewanego czyli odbiornika.

Procesy grzejne realizowane są w urządzeniach bezkomorowych (człon grzejny nie ma komory) oraz komorowych (człon grzejny posiada komorę).

Zasada działania tych dwóch rodzajów urządzeń jest taka sama i oparta jest na układzie dwuelementowym: źródło ciepła - odbiornik ciepła.



Klasyfikacja układów grzejnych rezystancyjnych pośrednich



Elementy grzejne

niskotemperaturowe:

a) widok;

b) ÷ k) przekrój

1 - rezystor grzejny,

2 - izolacja elektryczna,

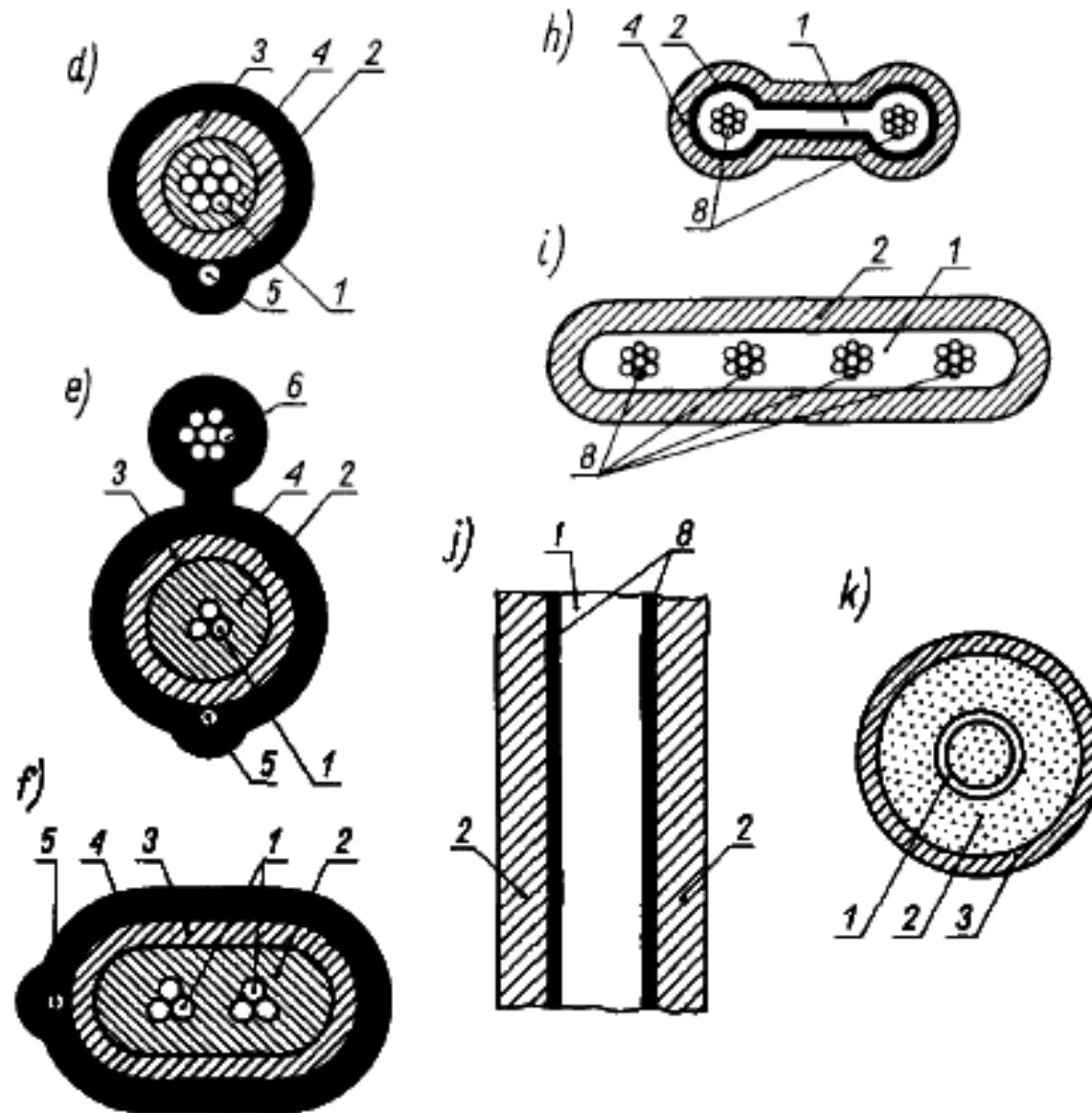
3 - płaszcz metalowy,

4 - płaszcz ochronny,

5 - przewód ochronny,

6 - linka nośna,

7 - przewód zasilający



Elementy grzejne niskotemperaturowe:
 a) widok;
 b) ÷ k) przekrój
 1 - rezystor grzejny,
 2 - izolacja elektryczna,
 3 - płaszcz metalowy,
 4 - płaszcz ochronny,
 5 - przewód ochronny,
 6 - linka nośna,
 7 - przewód zasilający

Elementy grzejne powierzchniowe są wykonywane w dwóch odmianach. Odmiana (typ a) charakteryzuje się tym, że rezystory są wykonywane z folii metalowych (aluminium, miedź, nikiel, żelazo) o grubości zawierającej się w granicach 0,01÷0,05 mm. Są one jedno- lub dwustronnie izolowane tworzywami sztucznymi, papierem, papierem azbestowym, mikanitem lub włóknem szklanym w zależności od temperatury rezystora. Ich kształty mogą być ściśle dostosowane do nagrzewanego obiektu. Jest to ogromną zaletą tego rozwiązania. Oczywiście wadą jest fakt, że wykonania niestandardowe są droższe.

Elementy (typ b) mają rezystory foliowe niemetalowe. Są to - w przeciwieństwie do typu a - elementy grzejne powierzchniowe w ścisłym tego słowa znaczeniu. Często spotyka się rozwiązania w postaci tkaniny z włókna szklanego impregnowanego materiałem rezystancyjnym, którym jest politetrafluoroetylen (teflon, tarflen) z dodatkiem materiału węglowego. Tkanina ta jest obustronnie izolowana elektrycznie tworzywem polimerowym zwalcowanym z rezystorem. Jeżeli zachodzi taka potrzeba, stosuje się drugą warstwę izolacyjną z żywicy epoksydowej wzmocnionej włóknem szklanym, co w pełni gwarantuje wodoszczelność elementu grzejnego.

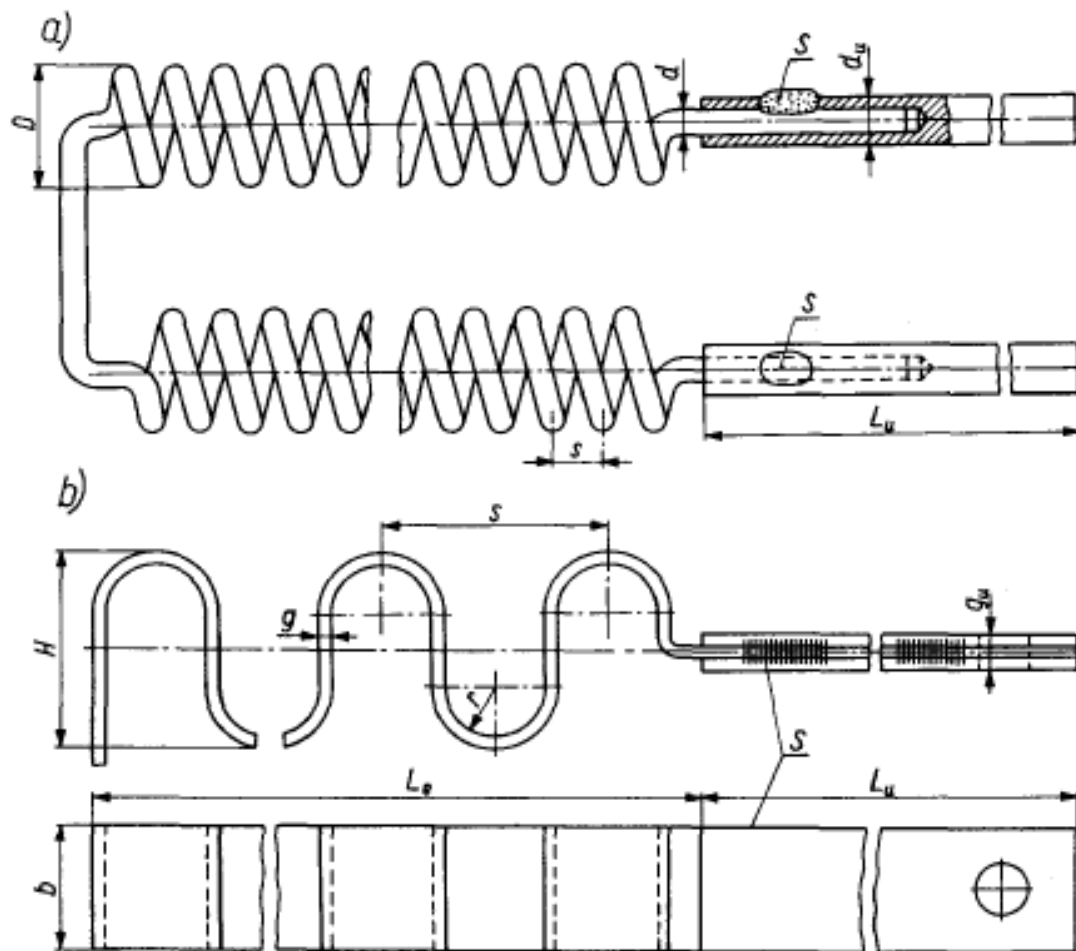
Kable grzejne (typy c, d, e, f) z jednym lub dwoma równoległymi rezystorami grzejnymi wykonanymi z drutu lub linki. Jako izolacji elektrycznej używa się tlenku magnezu, tworzyw sztucznych, gum i kauczuków. Wodoszczelność zapewniają metalowe płaszcze z miedzi, aluminium, ołowiu, stopu miedzi z niklem, stali, stopów austenitycznych. Stosowana jest także ochrona płaszczy metalowych przed utlenianiem, korozją i uszkodzeniami mechanicznymi w postaci płaszczy z ciepłoodpornych tworzyw sztucznych. Średnice kabli rzadko przekraczają 10 mm. W niektórych rozwiązaniach (d, e, f) stosuje się dodatkowe przewody zabezpieczające przed porażeniem, ściśle przylegające do płaszcza metalowego na całej długości kabla. Spotyka się także rozwiązania z linkami nośnymi (e). Kable grzejne tego typu wykonuje się często jako elementy konfekcjonowane, przystosowane do pracy przy określonym napięciu. Górna granica napięciowego zakresu zastosowań - 1000 V, temperaturowego - 1000°C

Taśmy grzejne są rozwiązaniami pośrednimi między elementami grzejnymi powierzchniowymi i liniowymi, do których zaliczają się także m.in. kable grzejne. Typ g jest przykładem taśmy grzejnej z czterema rezystorami metalowymi foliowymi zaszytymi w tkaninie szklanej i otoczonymi płaszczem z kauczuku silikonowego. Zapewnia to możliwość pracy przy maksymalnych temperaturach 200°C.

Zupełnie odmienną konstrukcją są taśmy grzejne typu h oraz typu i. Rezystorem grzejnym jest w nich tworzywo sztuczne przewodzące, umieszczone między dwiema, trzema, czterema elektrodami w postaci linek wykonanych z miedzi. Przepływ prądu odbywa się między elektrodami, a więc prostopadle do osi taśmy. W sposób zasadniczy ułatwia to dobór elementu grzejnego, ponieważ bez względu na jego długość zasila się go tym samym napięciem. Taśmy grzejne wykonywane są na określone napięcie, ustalenie zaś mocy grzejnej polega na doborze odpowiedniej długości przy zachowaniu tej samej temperatury roboczej. Ze względu na silnie rosnącą zależność rezystywności od temperatury, element grzejny ma cechę tzw. samoregulacji. Polega ona na tym, że przy wzroście temperatury rezystora, wskutek ograniczenia odpływu ciepła, zmniejsza się samoczynnie jego moc. Pewną wadą tych elementów jest konieczność stosowania elektrod o dużym przekroju, o ile zachodzi potrzeba stosowania taśm długich. Maksymalne parametry robocze: 250°C. Kable i taśmy grzejne są stosowane do nagrzewania obiektów, zwłaszcza o skomplikowanych kształtach i wielkich powierzchniach. Są one używane w warunkach braku ostrych wymagań dotyczących równomierności pola temperatury powierzchni przejmującej ciepło lub przy pośrednim dopływie ciepła z elementu grzejnego do wsadu.

Elementy grzejne poliestrowe. Są to rozwiązania typu j. Tu rolę doprowadzeń prądowych pełnią elektrody powierzchniowe 8 (najczęściej siatki metalowe), rezystorem zaś jest materiał niemetalowy (nienasycona żywica poliestrowa z sadzą acetylenową). W zależności od wymiarów elementu grzejnego można go zaliczyć do kategorii powierzchniowych bądź objętościowych. Maksymalna temperatura jego pracy wynosi 150°C . Obciążenie powierzchniowe zależy w znacznym stopniu od grubości elementu grzejnego i warunków pracy.

Niskotemperaturowe elementy grzejne rurkowe (typ k) z rezystorem metalowym w postaci skrętki izolowanej tlenkiem magnezu od płaszcza metalowego, wykonanym dla zastosowań w obszarze $\leq 400^{\circ}\text{C}$ z miedzi pokrytej metalowymi powłokami ochronnymi. Zakresy zastosowań napięciowych i temperaturowych - podobne jak kabli grzejnych. Z uwagi na niektóre ich przeznaczenie (np. do pracy w cieczech) dopuszcza się znacznie większe obciążenia liniowe. Wykonywane są także elementy grzejne rurkowe dwu- i trójskrętkowe

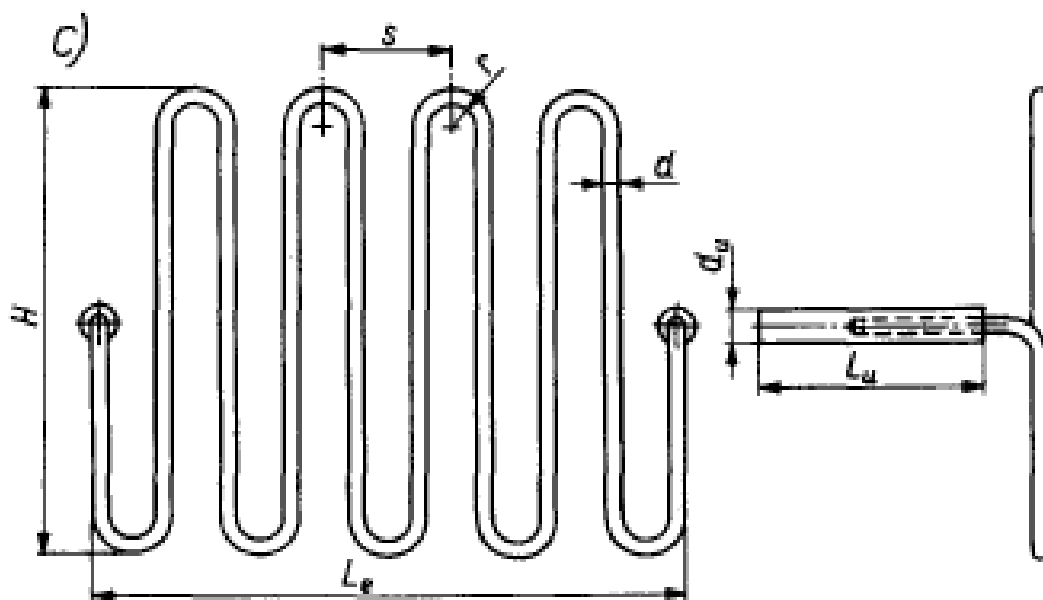


Najbardziej charakterystyczne rodzaje elementów grzejnych średnitemperaturowych, wg:

a) skrutkowy,

b) taśmowy,

c) drutowy meandryczny



Najbardziej charakterystyczne rodzaje elementów grzejnych średniotemperaturowych, wg:

- a) skrętkowy,
- b) taśmowy,
- c) drutowy meandryczny

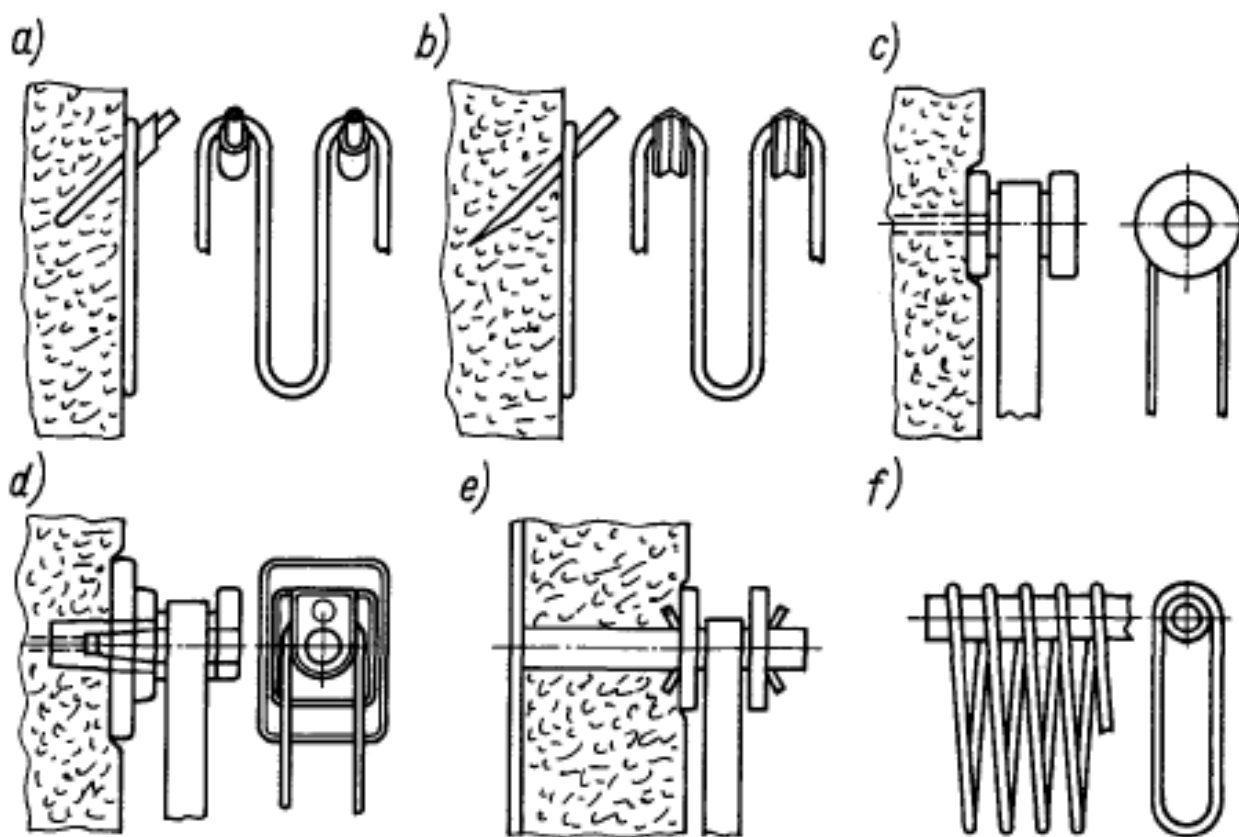
Elementy spiralne, nazywane także skrętkowymi, (typ a) są wykonywane z drutów o przekroju kołowym. Wyposażeniem elementu jest jedynie końcówka spełniająca warunek $(d^u/d)^2 \geq 3$. Zapewnia to utrzymanie jej w temperaturze niższej aniżeli rezystor grzejny oraz umożliwia wykonanie spawu S o przekroju co najmniej równym przekrojowi rezystora.

Przy mniejszych średnicach drutu, jego końce odgina się, składa podwójnie, skręca, wprowadza do otworu końcówki i spawa w podobny do przedstawionego sposób. Końcówki rezystorów z drutu o bardzo małej średnicy wykonuje się przez skręcenie kilku drutów. Kształt elementu jest dostosowany do potrzeb wynikających z konstrukcji urządzenia rezystancyjnego. Wykonanie elementów w kształcie litery U jest szczególnie często spotykane w piecach. Umożliwia to łatwe ich wzajemne łączenie w celu dostosowania rezystancji grupy elementów grzejnych do napięcia zasilającego.

Średnice drutów zawierają się w przedziale $0,02 \div 12$ mm. Ze stopów austenitycznych wytwarza się także pręty o średnicy do 25 mm. Średnica jest związana z innymi wielkościami charakteryzującymi skrętkę .

Elementy faliste z taśmy o przekroju prostokątnym (typ b). Wyposażeniem elementu jest końcówka o przekroju trzykrotnie większym aniżeli rezystor. Wykonuje się ją przez spawanie z końcówką rezystora. Elementy grzejne z taśmy mają również kształty wynikające z ich usytuowania w urządzeniu oraz ze sposobu łączenia w grupy, które zasilane są na ogół napięciem sieciowym. Grubości taśm wahają się w granicach $0,002 \div 3$ mm. Przy ich przeznaczeniu na elementy pieców przemysłowych grubość taśmy $g > 1,5$ mm (przy obciążeniach powierzchniowych maksymalnych $g \geq 2,0$ mm).

Elementy faliste mają większą wytrzymałość mechaniczną i niebezpieczeństwo ich odkształcenia przy wyższych temperaturach jest mniejsze niż przy stosowaniu elementów spiralnych. Umieszcza się je także w kształtkach ceramicznych na ścianach bocznych, w stropie i w trzonie pieca.



Sposoby zawieszania elementów grzejnych na ścianach pieca

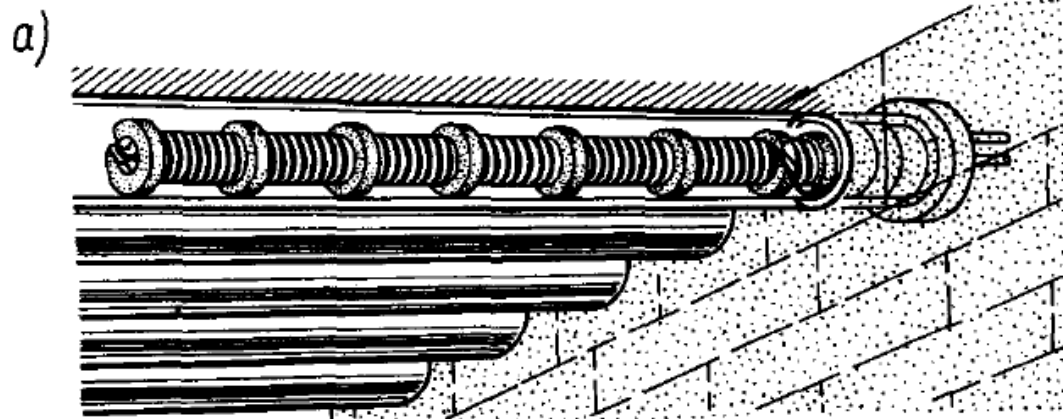
- a) falisty drutowy na rurkowych wieszakach ceramicznych; b) falisty drutowy na kolkach metalowych; c) falisty taśmowy na kieliszkowych wieszakach ceramicznych; d) falisty taśmowy na tulejowych wieszakach ceramicznych, e) falisty taśmowy na rurach ceramicznych, f) spiralny na rurze ceramicznej

Elementy faliste z drutu lub z taśmy do zawieszania na ścianach pieca (typ a÷e). Średnica drutu $d \geq 5\text{mm}$, grubość taśmy $g \geq 1,5\text{mm}$ (przy obciążeniach powierzchniowych maksymalnych $g \geq 2,5\text{ mm}$). Zawieszanie na ścianach bocznych i stropie pieca realizowane jest na wieszakach ceramicznych lub metalowych z tych samych materiałów z jakich wykonane są rezystory.

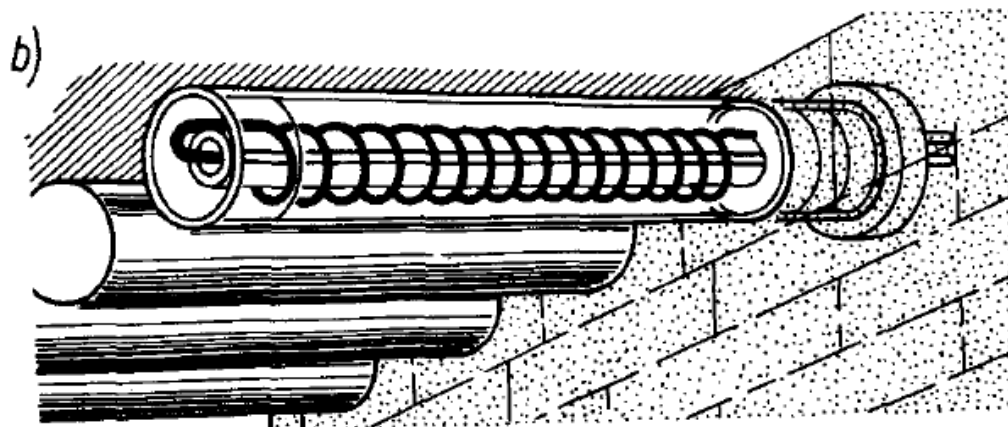
Elementy z rezystorem falistym z taśmy o bardzo dużej szerokości ($b/g \approx 100$, $s \approx 10\text{ mm}$, $H \approx 8\text{ mm}$). Są to w zasadzie elementy powierzchniowe. Bywają pokrywane emalią gazoszczelną, dzięki czemu mogą być eksploatowane w piecach z atmosferami regulowanymi. Wykonuje się je ze stopów austenitycznych. Są używane w najnowszych rozwiązaniach pieców rezystancyjnych o bardzo dużej obciążalności mocą elektryczną ścian komory piecowej.

Elementy z rezystorem spiralnym podwieszonym na rurze żaroodpornej (typ f). Są stosowane w piecach przemysłowych. Mają dobre warunki oddawania ciepła.

Elementy grzejne rurowe z rezystorem spiralnym:



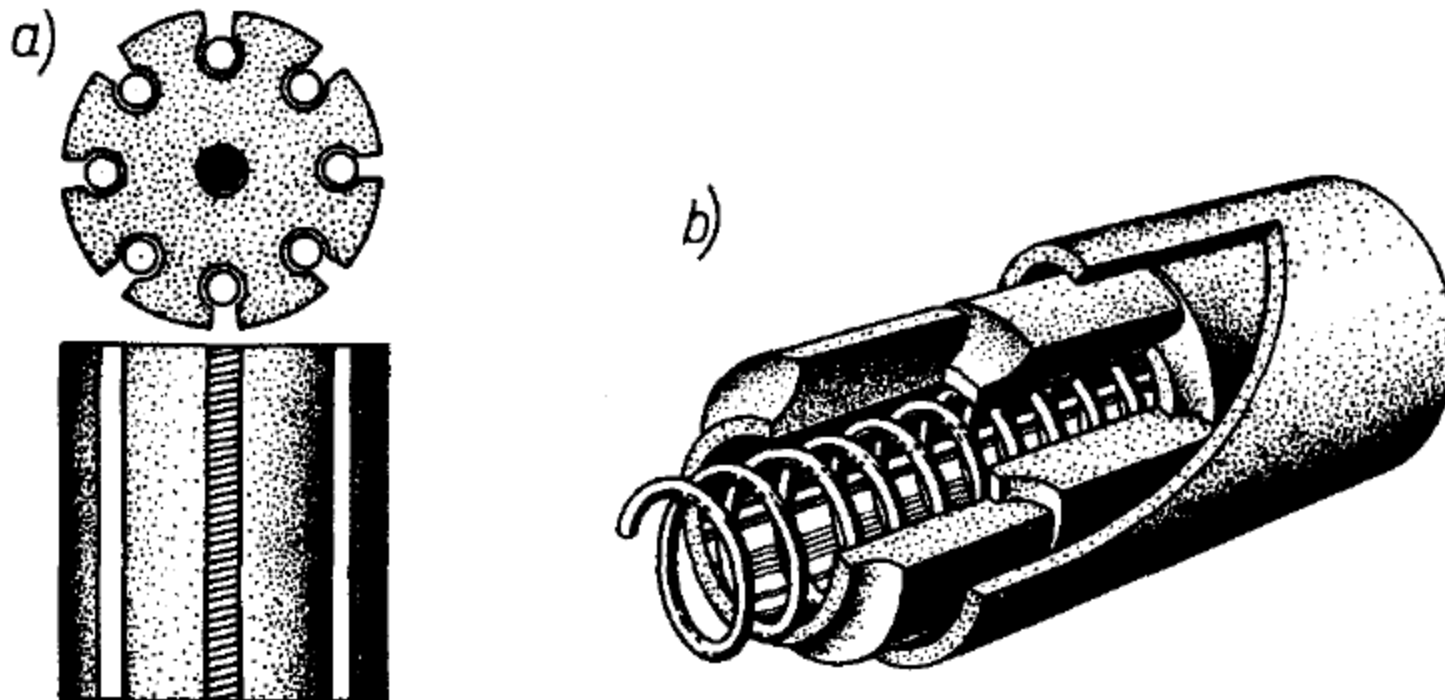
a) umieszczonym w żłobku śrubowym rury ceramicznej,



b) umieszczonym na gładkiej rurze ceramicznej

Kształtki te mają bardzo zróżnicowaną postać. Często są to rury ceramiczne gładkie lub ze żłobkiem śrubowym, który zapewnia utrzymanie stałych odległości między zwojami rezystora. Jeśli element ma pracować w atmosferze regulowanej, kształtkę z rezystorem umieszcza się w gazoszczelnej rurze osłonowej. Jest to okupione dużą wartością Δt . Elementy takie pod nazwą rur promieniujących są stosowane w piecach przemysłowych

Elementy z rezystorami spiralnymi umieszczonymi w kanałach cylindrycznych kształtek wielokanałowych. Kanały te są równoległe do osi kształtek, z których można tworzyć zestawy o dowolnej długości. Zestaw taki umieszcza się często w rurze osłonowej ceramicznej lub metalowej (elementy grzejne patronowe). Są one stosowane w ogrzewaczach,

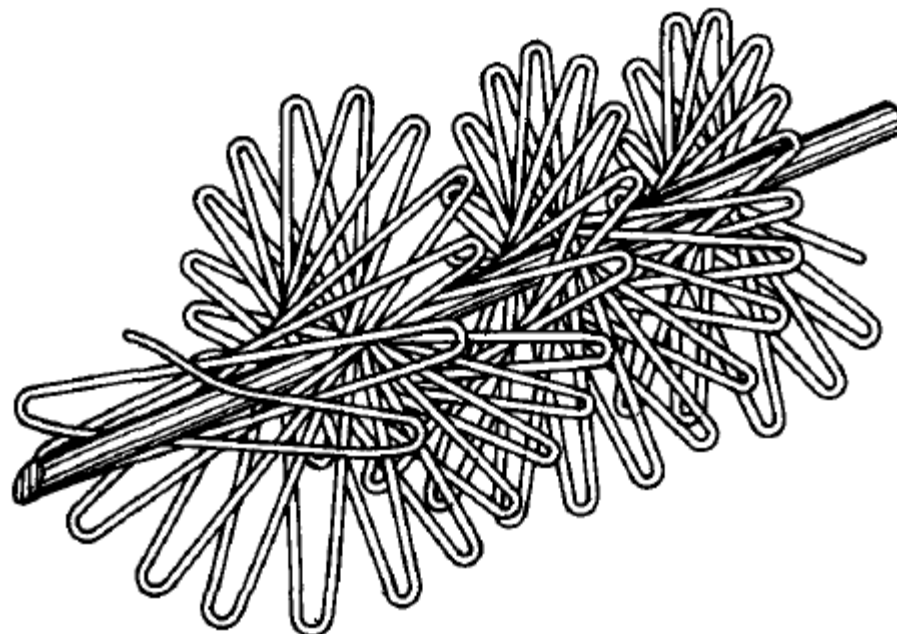


Elementy grzejne z rezystorami spiralnymi:

- a) umieszczonymi w kanałach ceramicznych kształtek wielokanałowych,
- b) umieszczonymi w perlach ceramicznych

Elementy z rezystorem spiralnym w perlach lub innych krótkich segmentach cylindrycznych z ceramiki. Elementy te, wykonywane z drutu o małej średnicy, są elastyczne. Zastosowania: w narzędziach i przyrządach grzewczych oraz w ogrzewaczach (b).

Elementy z rezystorem kolczatkowym (porcupine element). W rozwiązaniu tym rezystor drutowy jest nawinięty na pręcie ceramicznym. Elementy te opracowano wyłącznie do pracy w nagrzewnicach i przyrządach grzewczych z wymuszonym ruchem atmosfery.



Element kolczatkowy

Oprócz rezystorów z drutu okrągłego oraz z taśmy wykonuje się rezystory z drutu płaskiego. Różnią się one od taśmy tym, że mają naturalne krawędzie, takie jakie powstają podczas walcowania. Ich przekrój, w przeciwieństwie do taśmy, nie jest więc idealnie prostokątny. Zakres zastosowań podobny jak elementów z taśm.

Elementy grzejne należy formować na gorąco, zwłaszcza te o większych przekrojach. Na przykład elementy skrętkowe zwijają się przy nagrzewaniu ich do $200 \div 300^{\circ}\text{C}$. Przy takiej samej temperaturze formuje się elementy faliste.

Rozciąganie skrętek z materiałów ferrytycznych odbywa się po ich nagrzaniu do 800°C , z austenitycznych - po nagrzaniu do 1000°C . Zarówno elementy ze stopów austenitycznych jak i ferrytycznych można spawać albo lutować lutami miękkimi lub twardymi. Muszą być przy tym zachowane warunki określone przez producentów materiałów.

Warunki pracy określają: temperatura (wartość maksymalna, obszar zmienności, wahania), atmosfera, obciążenie powierzchniowe, częstość przełączania, rodzaj materiału z jakim rezystor się styka (ceramika wsporcza, elektroizolacja), warunki oddawania ciepła, obciążenie mechaniczne bezpośrednio i pośrednio (sposób zawieszenia, podparcia).

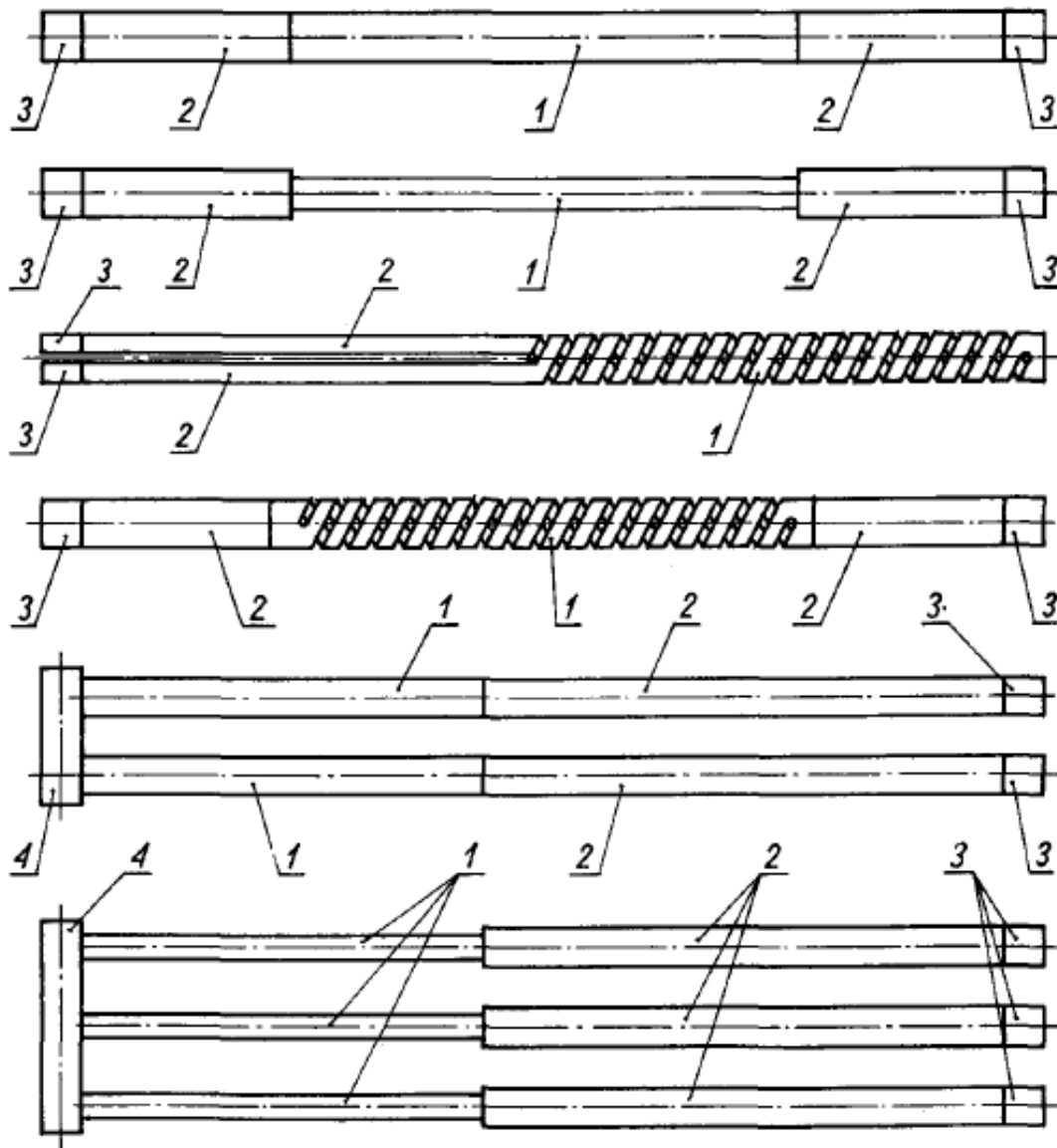
Naturę rezystora określają: skład chemiczny, struktura krystaliczna i fazowa materiału, stan materiału (zgniot), stan powierzchni, kształt i wymiary elementu. Na czynniki związane z naturą elementu grzejnego w głównej mierze ma wpływ ich wytwórca. Konstruktor urządzenia rezystancyjnego decyduje jednak o ich kształcie i wymiarach. Na czynniki związane z warunkami pracy wpływać może użytkownik i konstruktor urządzenia.

Spośród wymienionych czynników niszczących, trzy są szczególnie istotne, a mianowicie: temperatura, częstość łączeń oraz atmosfera pracy rezystora grzejnego

ELEMENTY GRZEJNE WYSOKOTEMPERATUROWE.

Rezystory grzejne tej kategorii elementów są wykonywane z metali wysokotopliwych, głównie z molibdenu, wolframu i tantalu oraz z materiałów niemetalowych, spośród których największe znaczenie mają: karborund, krzemomolibden, grafit.

Elementy z metali wysokotopliwych czyli z Mo, W oraz Ta są zróżnicowane pod względem budowy. Jest tak dlatego ponieważ piece z tymi elementami należą do wyrobów jednostkowych lub wytwarzanych w krótkich seriach, ściśle dostosowanych do technologii, które mają być w nich realizowane. Elementy z wymienionych metali wykonuje się z drutów, taśm, prętów i blach. Liczące się wytwórcie metali wysokotopliwych wykonują elementy grzejne według rysunków dostarczonych przez konstruktorów pieców.



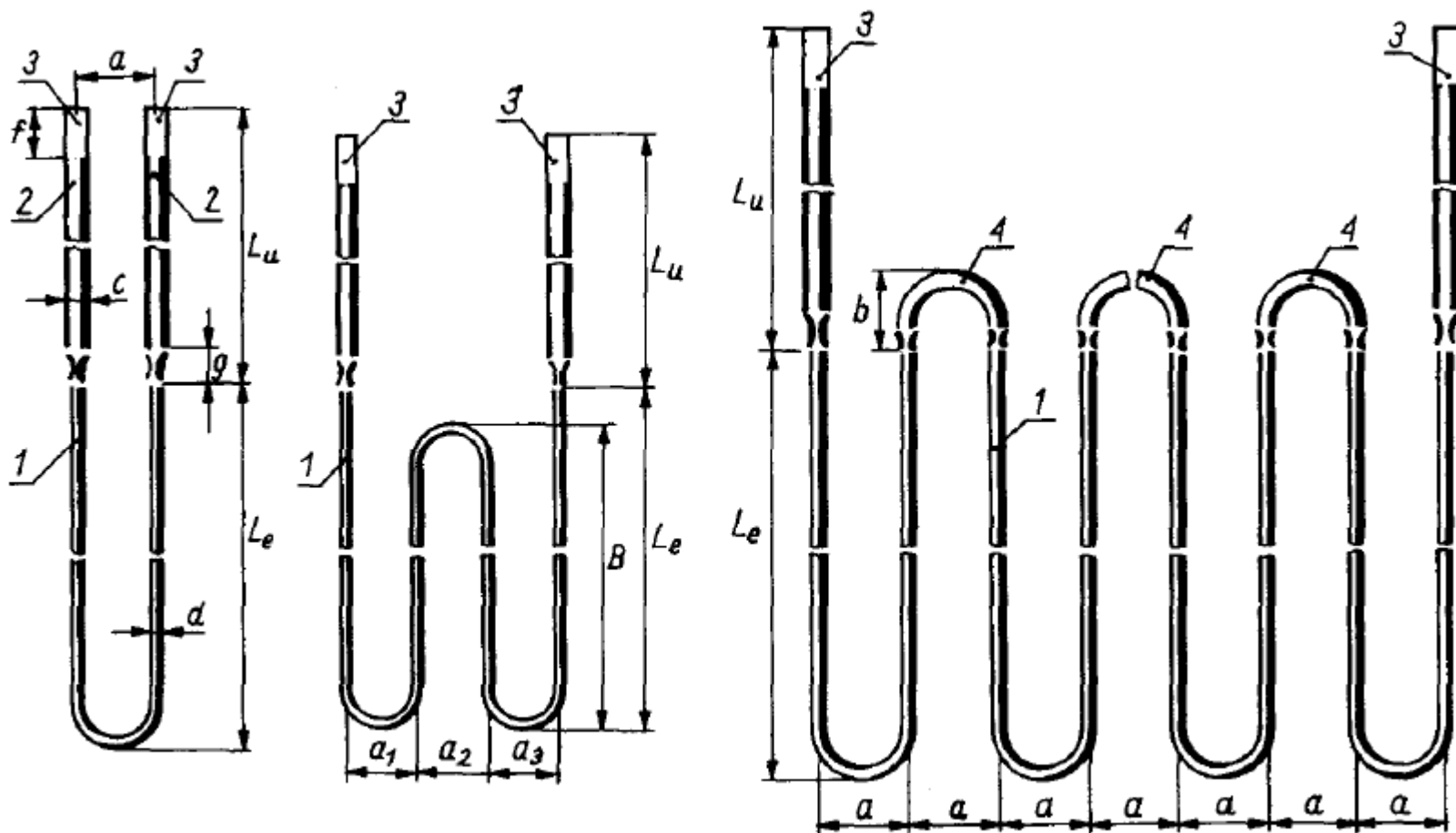
Elementy grzejne
karborundowe:

- 1 - rezystor grzejny,
- 2 - końcówka,
- 3 - część metalizowana
końcówki,
- 4 - łączówka

Elementy z rezystorami karborundowymi. Wykonuje się je z jedną, dwoma lub trzema sekcjami grzejnymi (rezystorami grzejnymi). Umożliwia to zasilanie jedno lub trójfazowe. Część grzejna wykonana jest z SiC i może być pokryta warstwą gazoszczelną zapobiegającą starzeniu się elementu. Kształt części grzejnej jest prętowy lub spiralny, co zwiększa jej rezystancję. Końcówki elementu są także wykonane z SiC, lecz w celu obniżenia ich rezystancji są one impregnowane metalami odpornymi na wysokie temperatury, a niekiedy dodatkowo zwiększa się ich przekrój.

Wykonuje się elementy o średnicach części grzejnej od kilku do pięćdziesięciu kilku mm oraz o długości dochodzącej do 2,5 m. Z SiC wykonuje się także elementy z rezystorem w kształcie rury spiralnie naciętej. Wnętrze rury jest komorą grzejną pieca.

W związku ze starzeniem się elementów karborundowych, przejawiającym się we wzroście rezystywności z czasem użytkowania oraz nieliniową ich charakterystyką temperaturową, muszą być one zasilane napięciem regulowanym



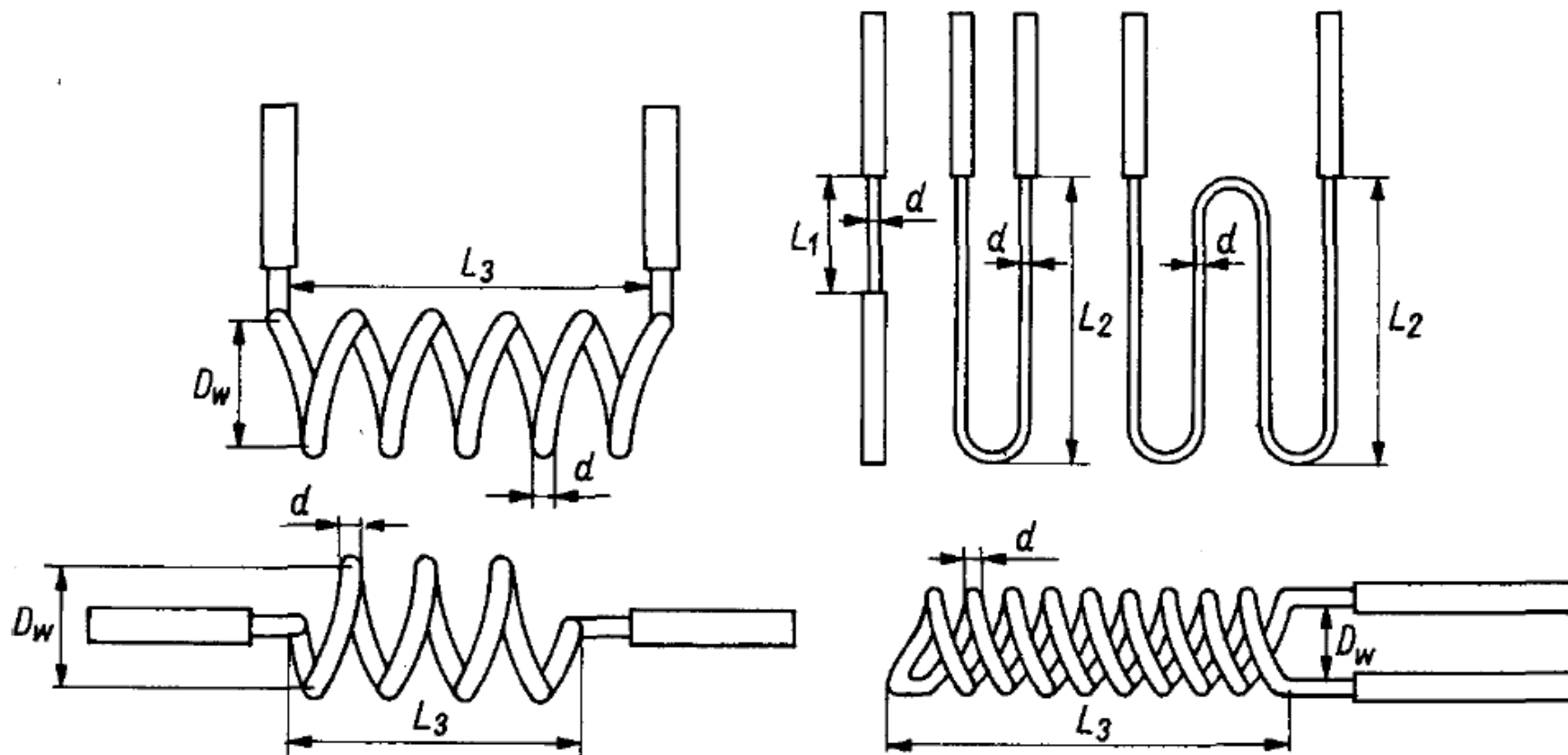
Elementy grzejne z dwukrzemku molibdenu

- 1 - rezystor grzejny, 2 - końcówka, 3 - część „zimna” końcówki pokryta Al,
- 4 - część rezystora przystosowana do podwieszania na haku

Elementy z rezystorami krzemomolibdenowymi. Najbardziej znane są tzw. super-kanthale, także z wieloramiennymi rezystorami grzejnymi o przekroju kołowym. Końcówki o średnicy dwukrotnie większej aniżeli rezystor wykonywane są także z MoSi_2 i połączone z nim przez spawanie. Części zimne końcówek są aluminiowane w celu polepszenia styku z taśmami przyłączeniowymi (specjalne wykonania).

Elementy z rezystorami wieloramiennymi przystosowane są wyłącznie do pracy w płaszczyźnie pionowej. Są one podwieszane na hakach i z tego powodu rezystor grzejny w strefie górnych kolan ma powiększony przekrój. Maksymalna długość rezystorów grzejnych $L_H = 2L_e - d + 0,57a \approx 2525$ mm (dla elementu dwuramiennego). Maksymalne długotrwałe prądy robocze zależne są od średnic i wynoszą odpowiednio 75, 200, 350 A.

Ze względu na duży dodatni i praktycznie stały współczynnik temperaturowy rezystywności MoSi_2 , zasilanie elementów grzejnych odbywa się ze źródła o regulowanym napięciu, najlepiej przy użyciu tyrystorów lub bezpośrednio z sieci lecz z możliwością zmiany ich układu połączeń, gwarantującą ograniczenie prądu do wartości dopuszczalnej.



Elementy grzejne grafitowe

Elementy z rezystorami grafitowymi i węglowymi wykonywane są w formie prętów, rur, tygli, płyt, folii elastycznych, taśm, sztywnych płyt laminowanych, skrętek. Rezystory prętowe mają przekrój kołowy lub prostokątny. Wymiar poprzeczny na ogół nie przekracza kilkudziesięciu mm, ze względu na duży gradient temperatury między osią a powierzchnią rezystora. Często łączy się je w „klatki grzejne” za pomocą pierścieni wykonywanych także z grafitu. Rezystory rurowe wykonywane są z rur o jednakowym przekroju, profilowanych lub ze szczeliną spiralną. Rezystory segmentowe mają postać płyt o zróżnicowanych kształtkach ze szczelinowymi wycięciami. Elementy foliowe mają grubość 0,2 ÷ 0,5 mm i szerokości do 500 mm (np. typu SIGRAFLEX-F).

Rezystory grafitowe mogą pracować w atmosferze ochronnej lub w próżni do 2500°C, a w helu do 3000°C. W powietrzu zaczynają się utleniać poczynając od 650°C. Z tego względu znalazły one zastosowanie głównie w promiennikowych piecach próżniowych. Elementy grafitowe pracują przy napięciach nie przekraczających kilkudziesięciu woltów i przy natężeniach prądu rzędu kilku tysięcy amperów.

URZĄDZENIA REZYSTANCYJNE POŚREDNIE BEZKOMOROWE

Są to urządzenia o podstawowych członach wyposażonych w elementy grzejne, z których ciepło zgodnie z prawami termokinetyki jest przekazywane do ośrodków nagrzewanych (wsadów) nie umieszczonych w komorach. Podstawowymi ich członami (członami grzejnymi) - często jedynymi - są nagrzewnice oraz liczne odmiany ogrzewaczy, przyrządów i narzędzi grzejnych.

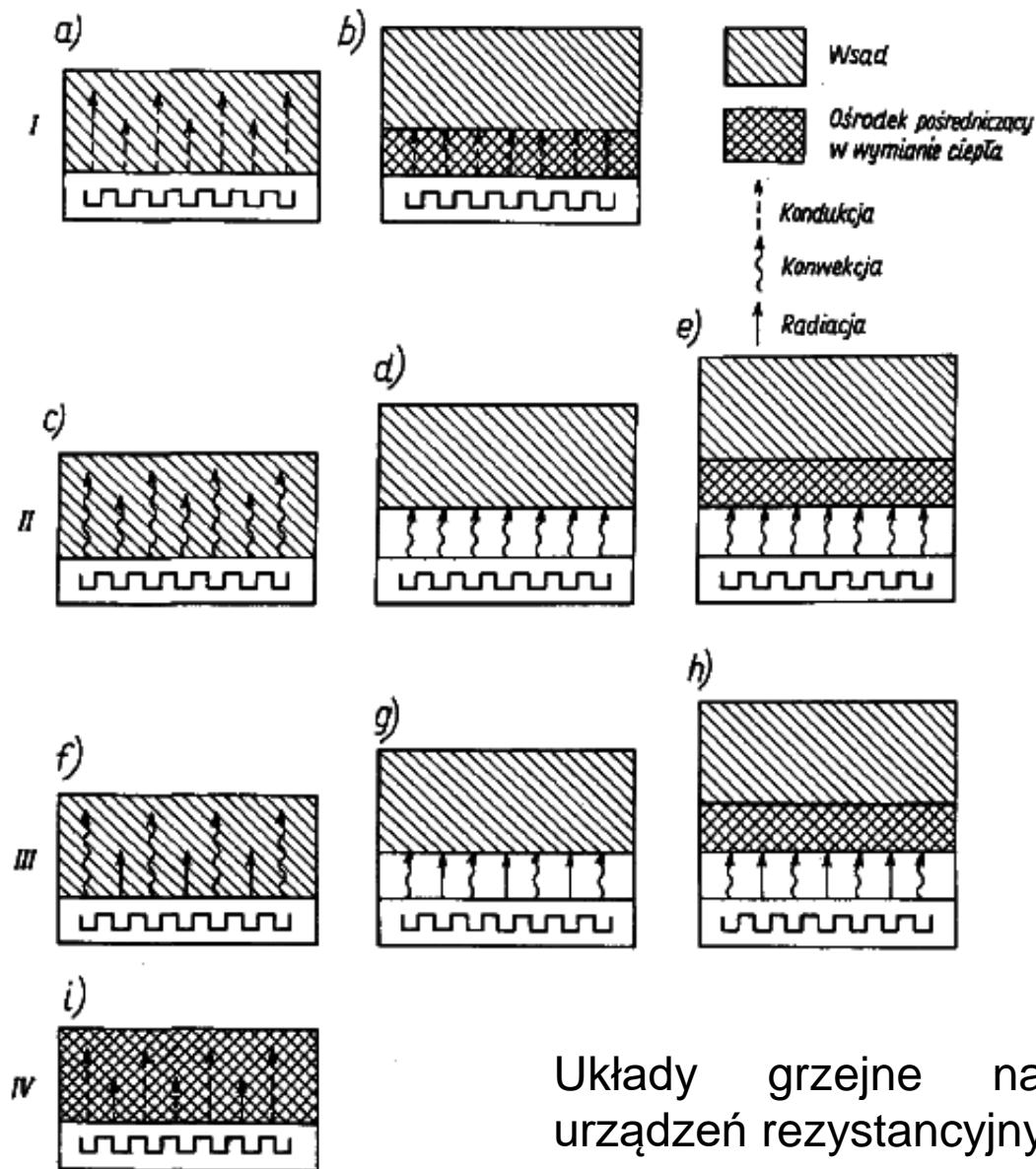
Można cztery kategorie urządzeń:

I - urządzenia z bezpośrednim przejmowaniem ciepła przez wsad na drodze kondukcyjnej lub za pośrednictwem kondukcyjnie nagrzewanego ośrodka pośredniczącego w tej wymianie. Są to urządzenia kondukcyjne.

II - urządzenia z bezpośrednim przejmowaniem ciepła przez wsad płynny, za pośrednictwem konwekcyjnie nagrzewanego płynu do wsadu o dowolnym stanie skupienia lub ośrodka pośredniczącego w wymianie, z którego przepływa ono do wsadu w dowolny sposób

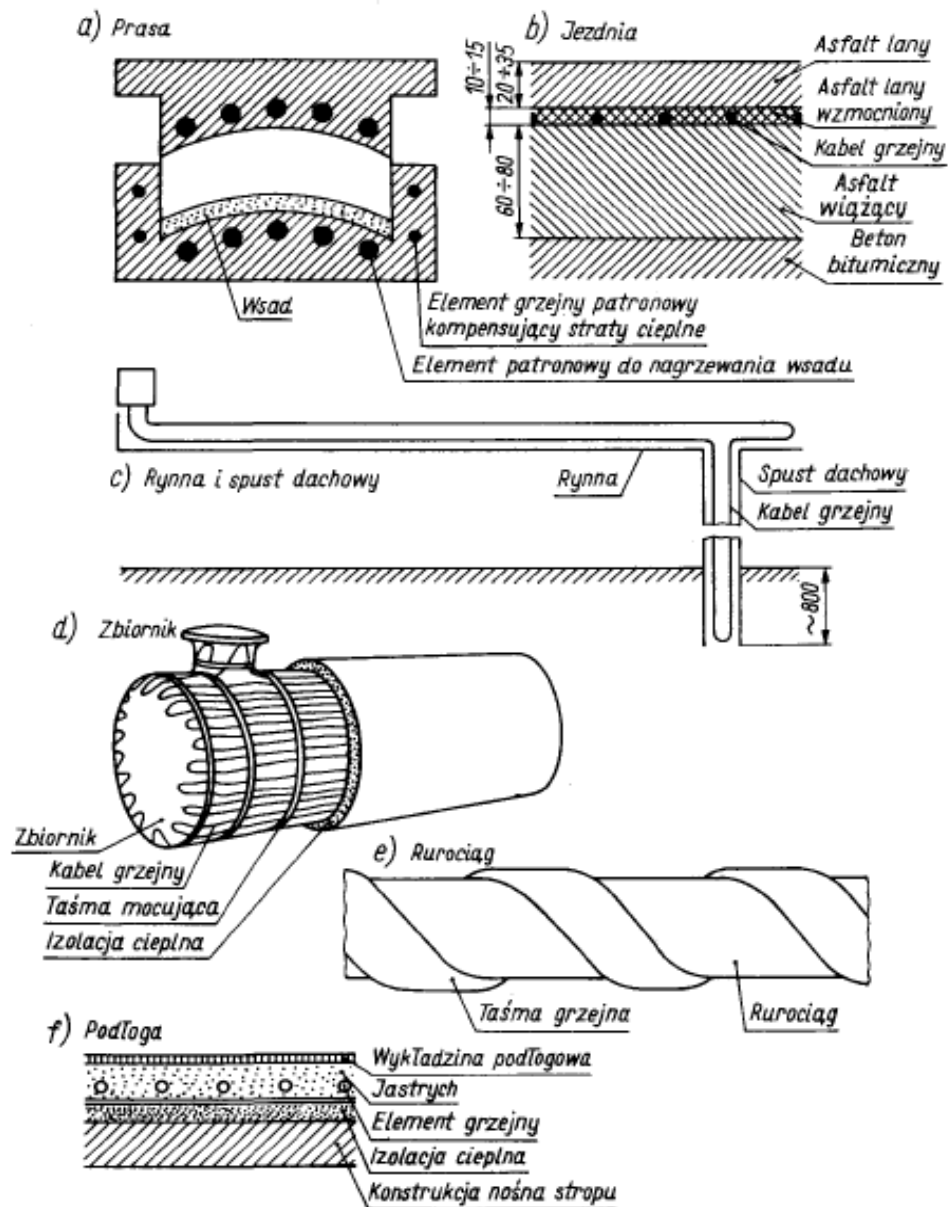
III - urządzenia z bezpośrednim przekazywaniem ciepła do wsadu płynnego równoległe na drodze konwekcji i radiacji lub za pośrednictwem konwekcyjnie nagrzewanego płynu przy udziale radiacji do wsadu, względnie ośrodka pośredniczącego w wymianie, z którego przepływa ono do wsadu w dowolny sposób.

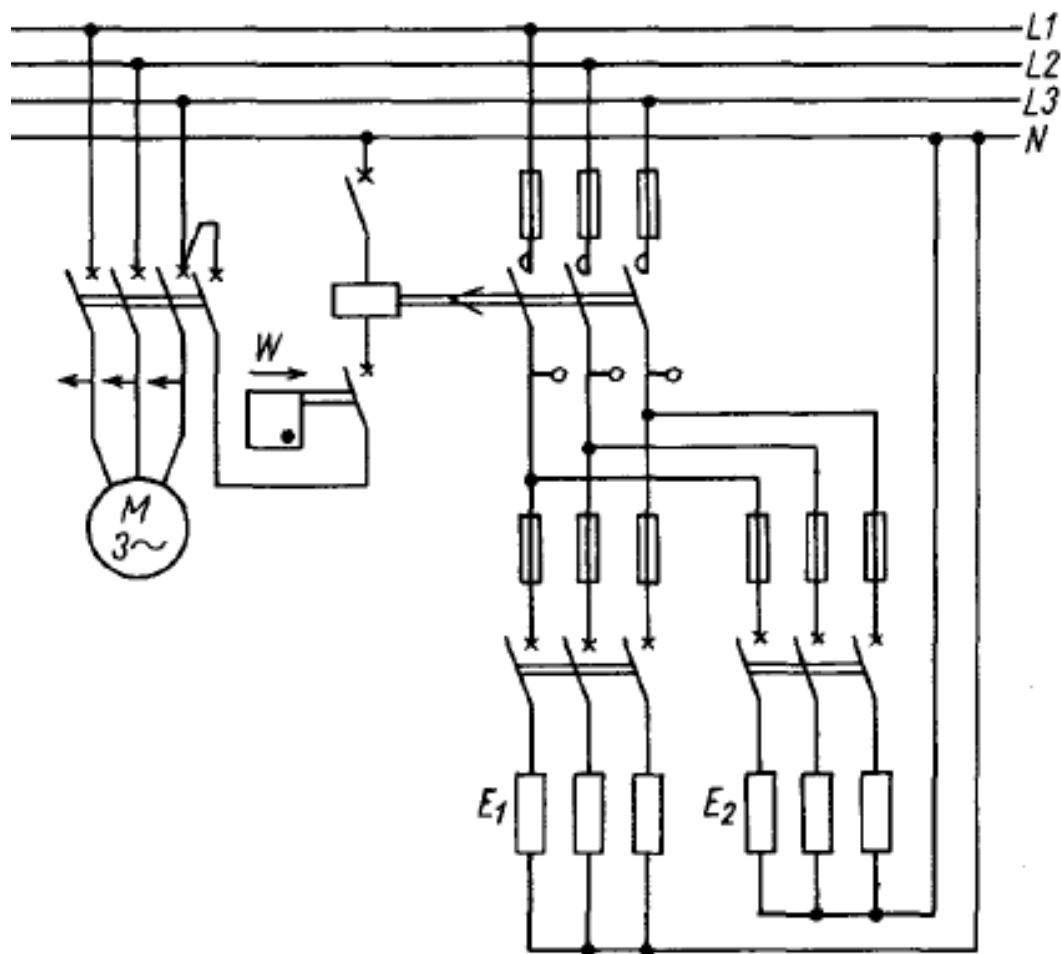
IV - urządzenia akumulacyjne - wykorzystywane głównie w ogrzewnictwie



Układy grzejne najbardziej rozpowszechnionych urządzeń rezystancyjnych pośrednich bez komorowych

Przykłady zastosowań urządzeń kondukcyjnych

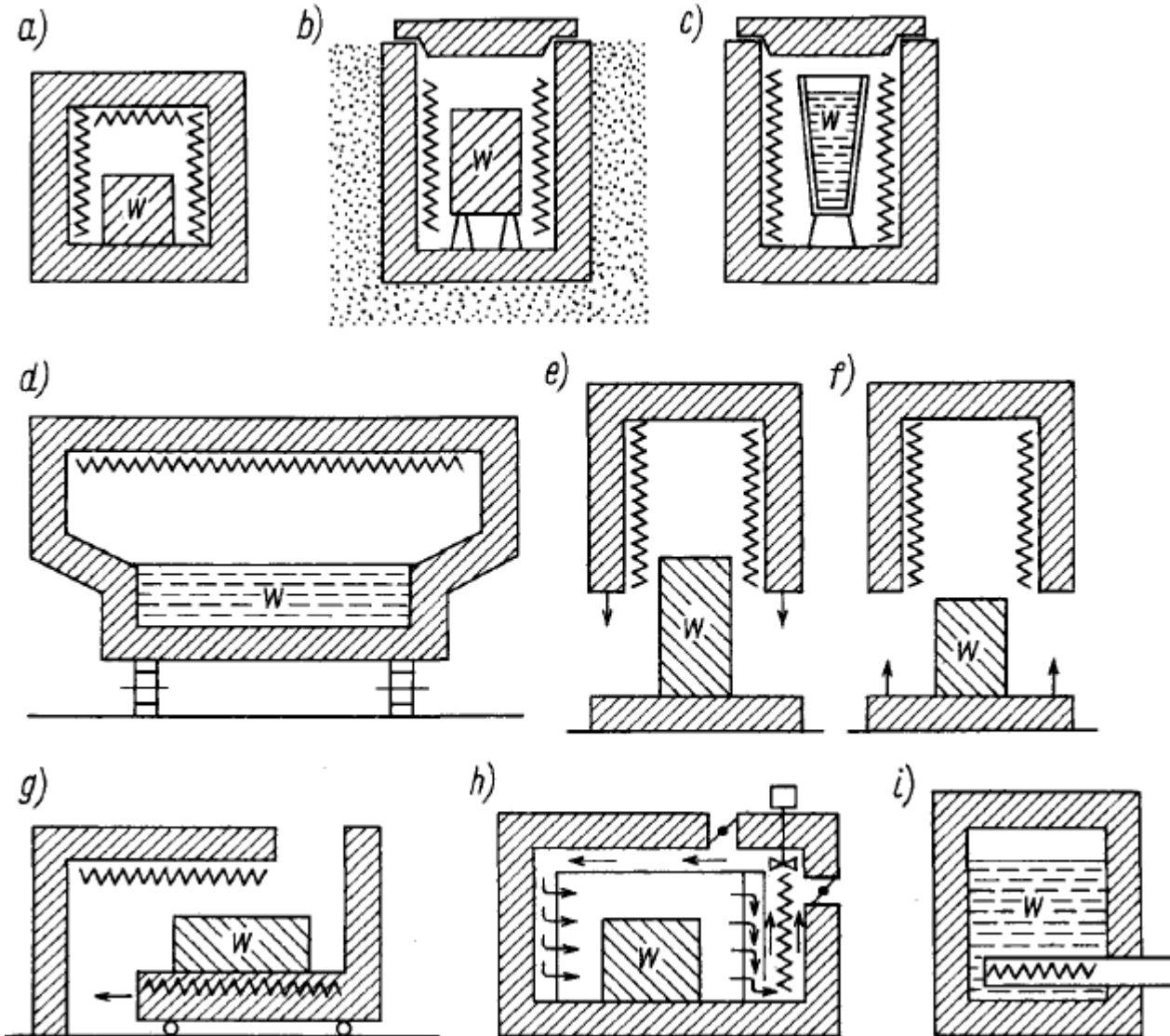




Schemat elektryczny urządzenia rezystancyjnego z nagrzewnicą powietrza
M - silnik napędowy dmuchawy, E1, E2 - dwie grupy elementów grzejnych.
W - przekaźnik uruchamiany wymuszonym strumieniem powietrza w nagrzewnicy

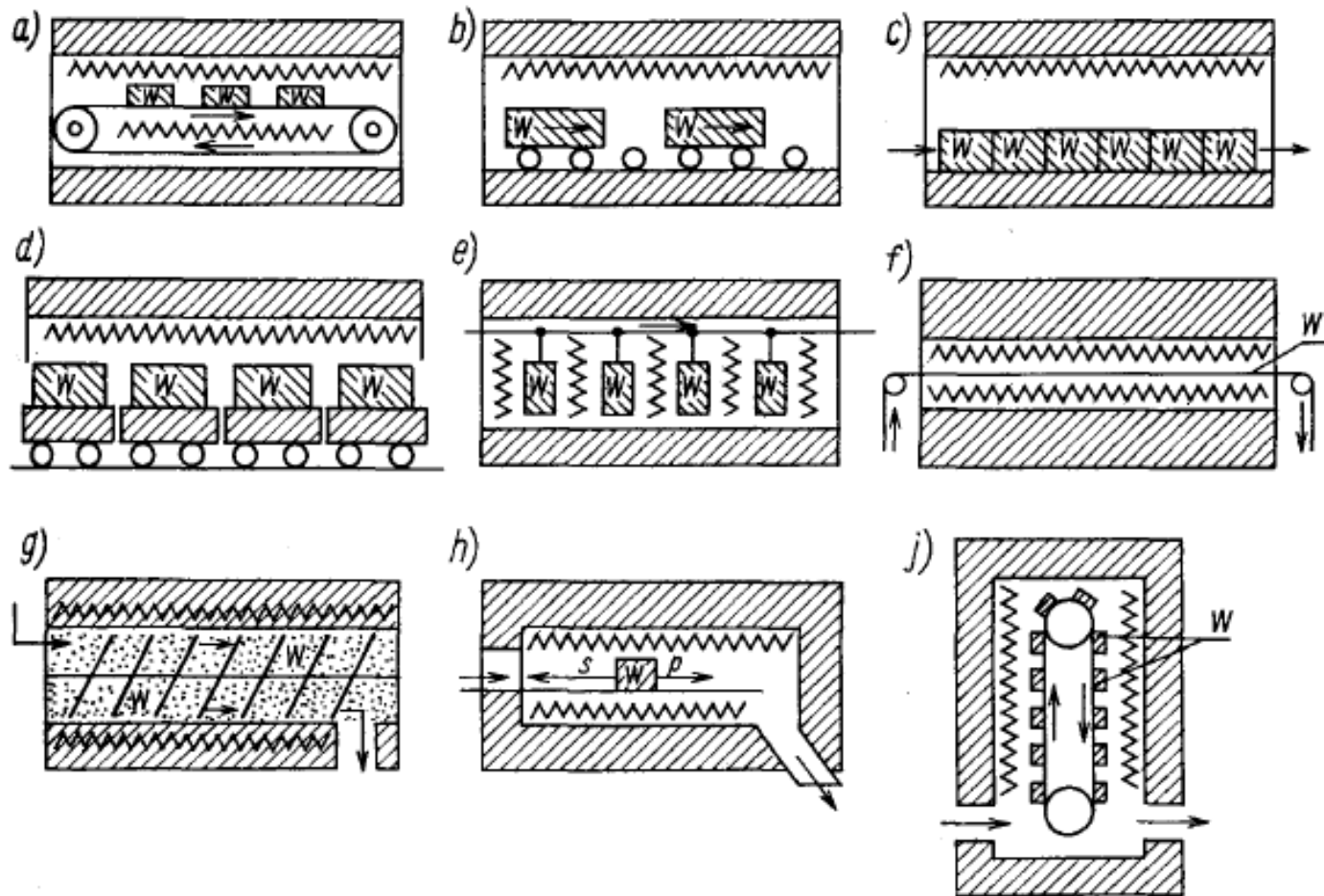
URZĄDZENIA REZYSTANCYJNE POŚREDNIE KOMOROWE

Są to urządzenia o podstawowych członach wyposażonych w elementy grzejne, z których ciepło zgodnie z prawami termokinetyki jest przekazywane do wsadu umieszczonego w komorze.

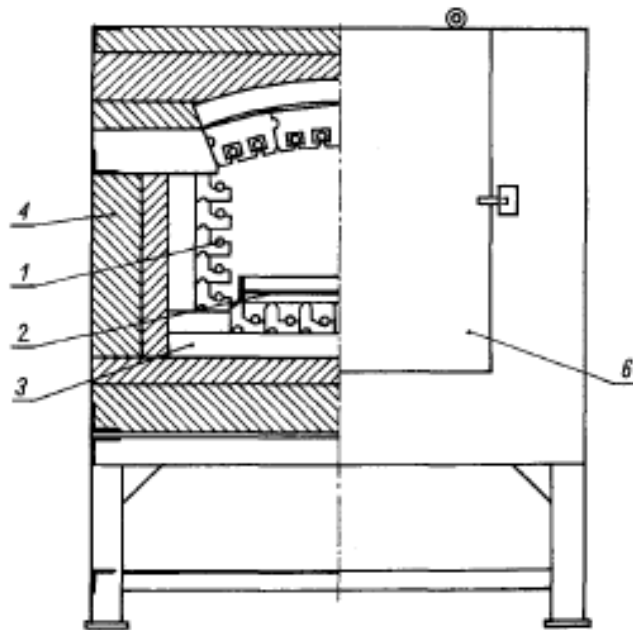


Schematy bardziej
 rozposzechnionych
 pieców rezystancyjnych
 pośrednich
 nieprzewodowych:

- a) komorowy;
 - b) wgłębny;
 - c) tyglowy;
 - d) wannowy;
 - e) kołpakowy;
 - f) elewatorowy,
 - g) wysuwny;
 - h) komorowy z
 wymuszonym
 ruchem powietrza;
 - i) wurnik
- W - wsad

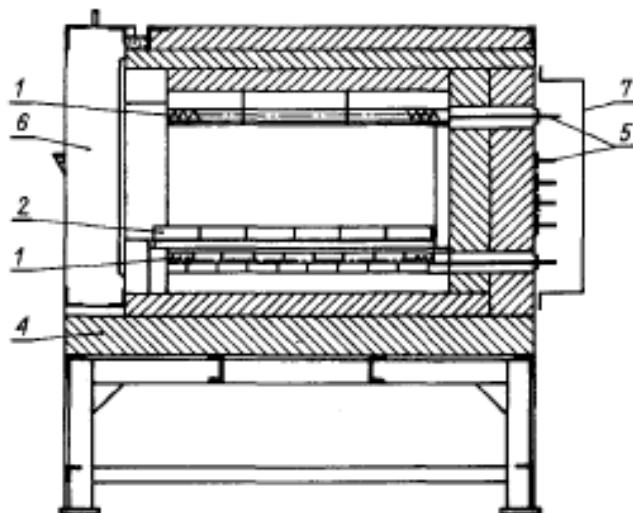


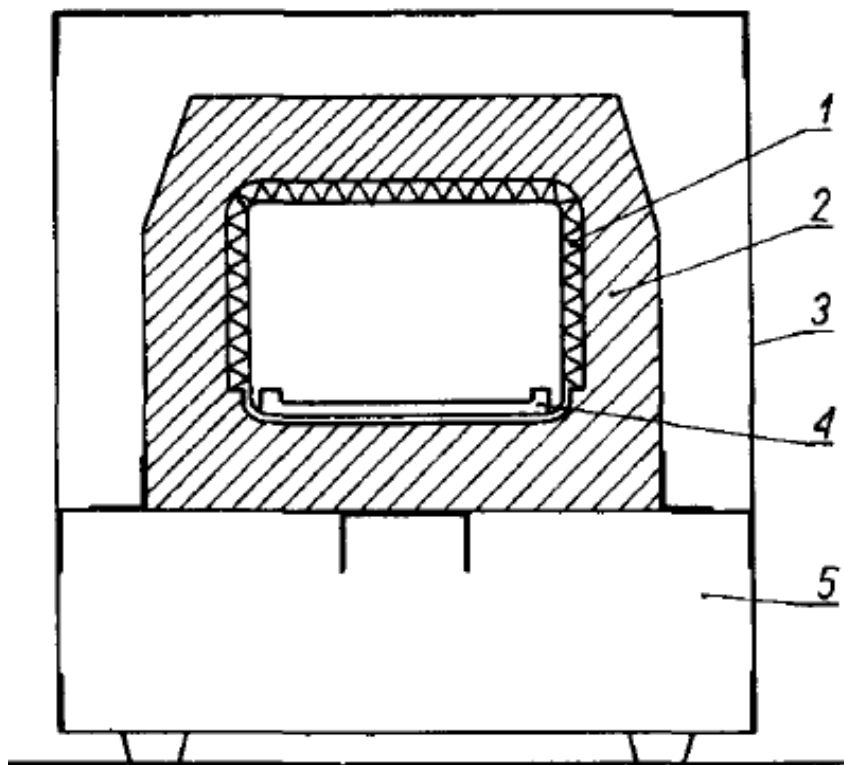
Schematy bardziej rozpowszechnionych pieców rezystancyjnych pośrednich przelotowych: a) taśmowy; b) rolkowy; c) przepychowy; d) wózkowy (przetokowy); e) przenośnikowy; f) przewłokowy; g) ślimakowy; h) wstrząsowy; i) okrężny z pionową komorą , W - wsad, s - ruch szybki, p - ruch wolny



Piec rezystancyjny komorowy

- 1 - element grzejny średniotemperaturowy skrętkowy,
- 2 - płyta denna,
- 3 - materiał ogniotrwały,
- 4 - materiał termoizolacyjny,
- 5 - końcówka elementu grzejnego,
- 6 - drzwi,
- 7 - osłona końcówek elementów

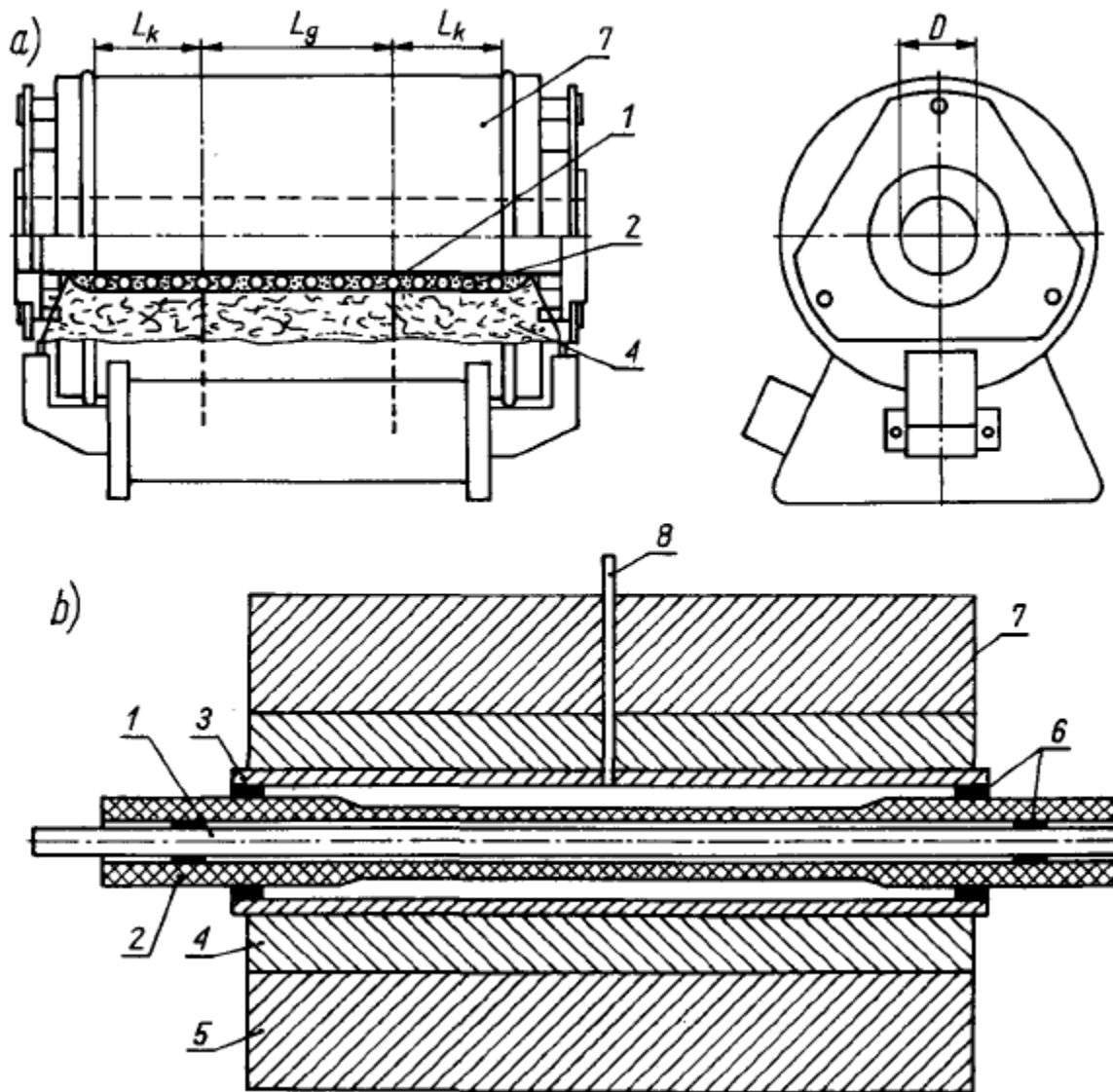




Piec muflowy z elementem grzejnym w ścianie ogniotrwałej:

- 1 - element grzejny,
- 2 - izolacja cieplna,
- 3 - obudowa,
- 4 - płyta denna,
- 5 - przestrzeń na aparaturę pomiarowo-kontrolną

Piece muflowe znane są z tego, że ciepło jest doprowadzane do komory od zewnętrznej strony cienkich ścianek ogniotrwałych otaczających tę komorę i stanowiących tzw. muflę. Elementy grzejne są zaprasowane w materiale ceramicznym lub w utwardzonej warstwie włókien mineralnych



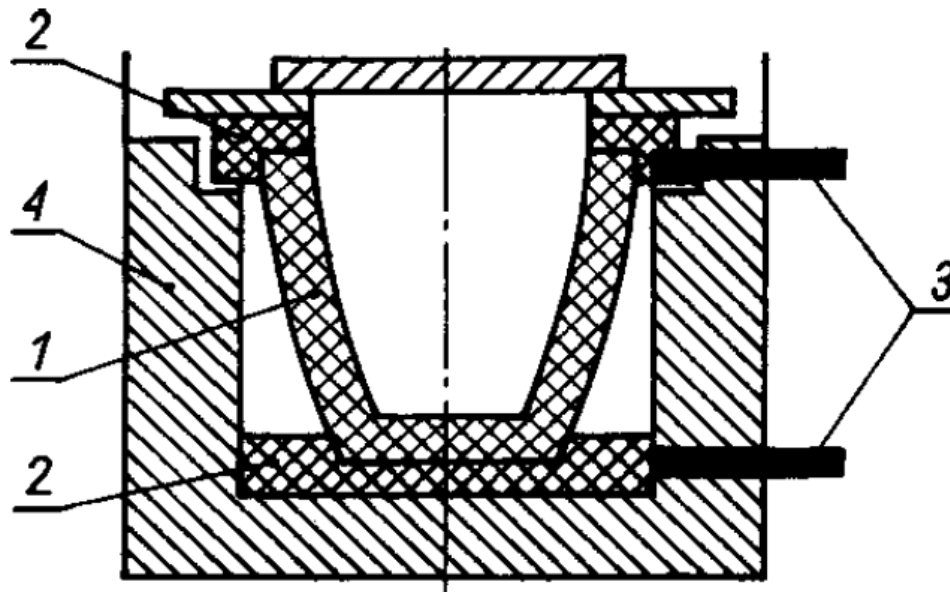
Piece rurowe:

a) ze skrętkowym metalowym rezystorem grzejnym umieszczonym na zewnątrz rury ceramicznej;

b) z rurowym karborundowym rezystorem grzejnym

1 - rura ceramiczna,
 2 - rezystor grzejny,
 3 - rura ogniotrwała,
 4 i 5 - materiały termoizolacyjne,
 6 - elektroizolacyjne pierścienie dystansowe,
 7 - obudowa,
 8 - rura osłonowa czujnika termometrycznego

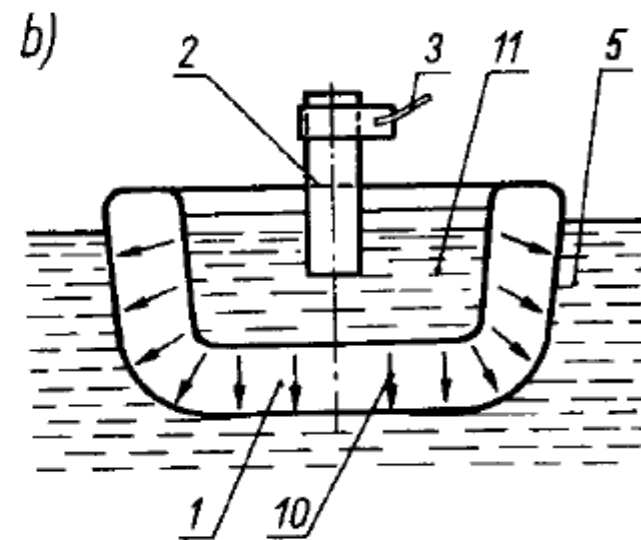
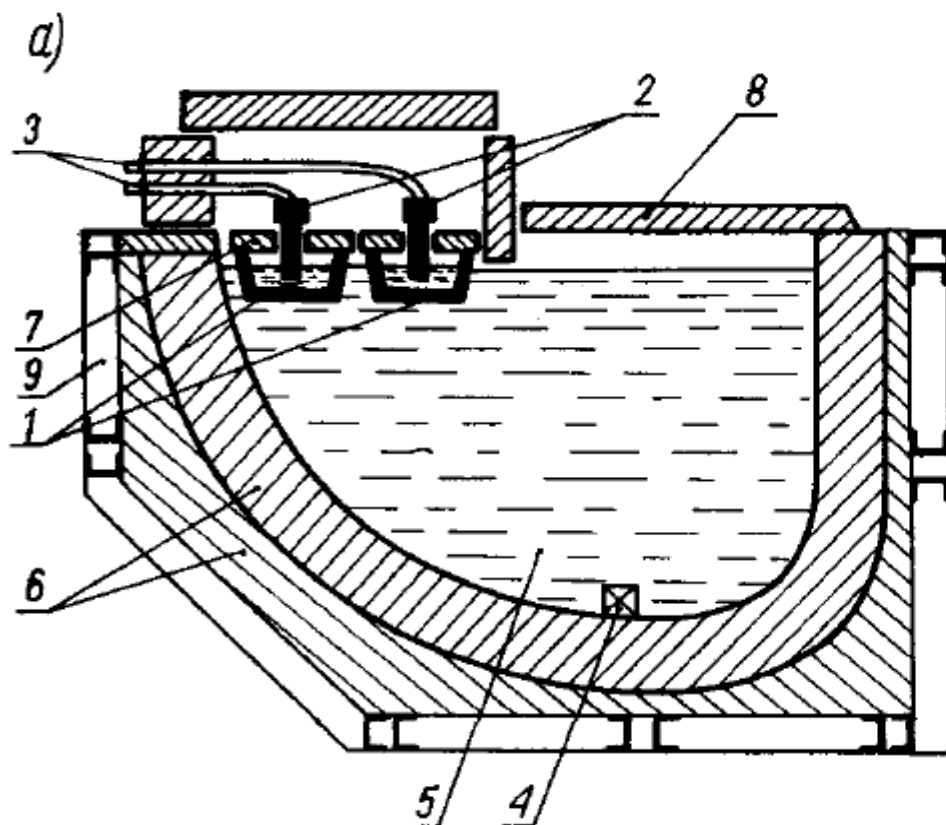
Piece rurowe swoją nazwę zawdzięczają cylindrycznemu kształtowi przestrzeni roboczej. Na zewnątrz tej przestrzeni znajdują się elementy grzejne. Jeżeli są one wykonane z materiałów rezystancyjnych średniotemperaturowych, to wraz z ceramiką elektroizolacyjną tworzą rury grzejne. Same rezystory mogą być przy tym zaprasowane w warstwie żaroodpornego materiału elektroizolacyjnego na zewnątrz rury ceramicznej lub ukształtowane w sposób pozwalający bezpośrednio oddawać ciepło do wnętrza przestrzeni użytkowej.



Piec tyglowy z bezpośrednio nagrzewanym tygłem

- 1 - tygiel grafitowy,
- 2 - elektrody zasilające,
- 3 - doprowadzenia prądowe,
- 4 - termoizolacja

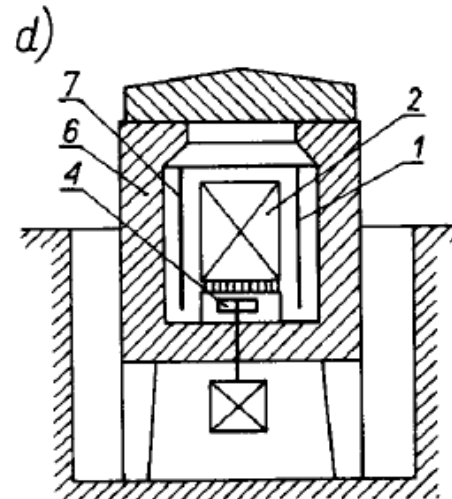
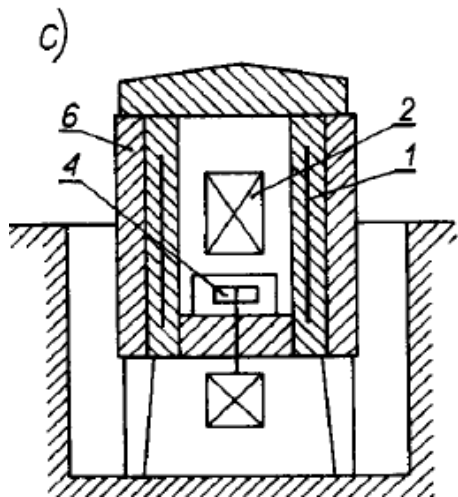
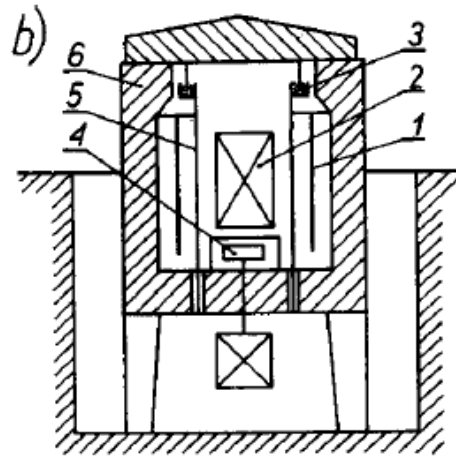
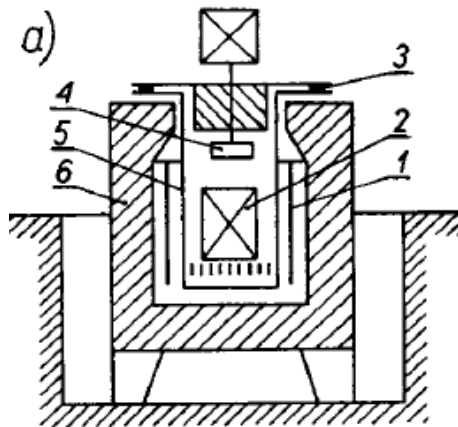
Piece tyglowe mają zewnętrzny kształt prostokątny lub cylindryczny z zamkniętym otworem wsadowym umieszczonym w stropie. Tygle wykonywane są z grafitu, węgla krzemowego, żeliwa, stali i umieszczane w przestrzeni izolowanej cieplnie. Mają one zawsze symetrię kołową, co podyktowane jest głównie względami wytrzymałościowymi. Stosowane są dwojaki rodzaje rozwiązania układu grzejnego: pośrednie i bezpośrednie. Pierwsze polega na umieszczeniu źródeł ciepła na zewnątrz tygla, przy czym stosuje się elementy grzejne metalowe, z SiC, MoSi₂. Drugie polega na bezpośrednim nagrzewaniu tygla grafitowego



Piec wannowy z pływającymi elementami grzejnymi

a) przekrój pieca; b) przekrój elementu grzejnego

1 - elementy grzejne, 2 - elektrody grafitowe, 3 - doprowadzenia prądowe, 4 - przeciwelektroda, 5 - wsad, 6 - izolacja cieplna, 7 - izolacja cieplna elementu grzejnego, 8 - uchylna pokrywa, 9 - obudowa, 10 - strugi prądowe w elemencie grzejnym, 11 - metal kontaktowy



Odmianny konstrukcyjne pieców
 węglanych:

a) z muflą wyjmowaną lub stałą i
 uszczelnieniem gumowym;

b) z muflą stałą i uszczelnieniem
 piaskowym;

c) z elementami grzejnymi
 umieszczonymi za warstwą
 ceramiki gazoszczelnej;

d) z ekranem

1 - element grzejny,

2 - wsad,

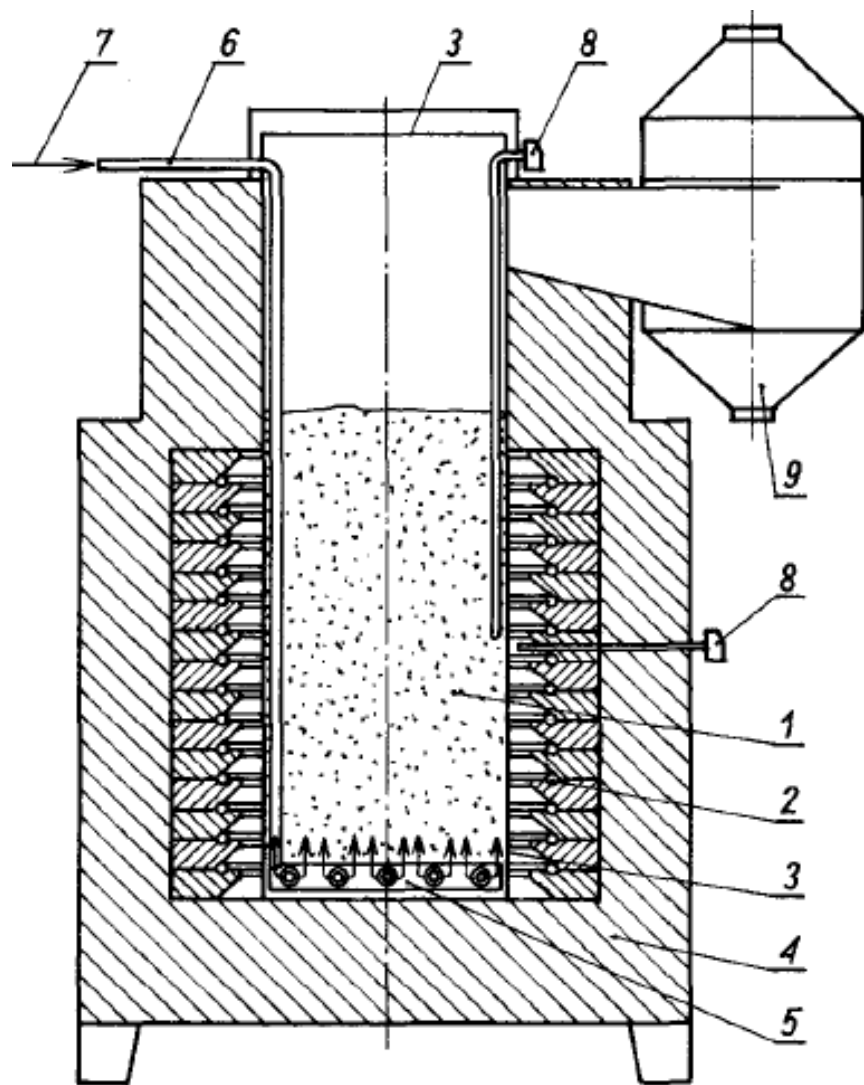
3 - uszczelnienie,

4 - wentylator,

5 - mufla metalowa,

6 - izolacja cieplna,

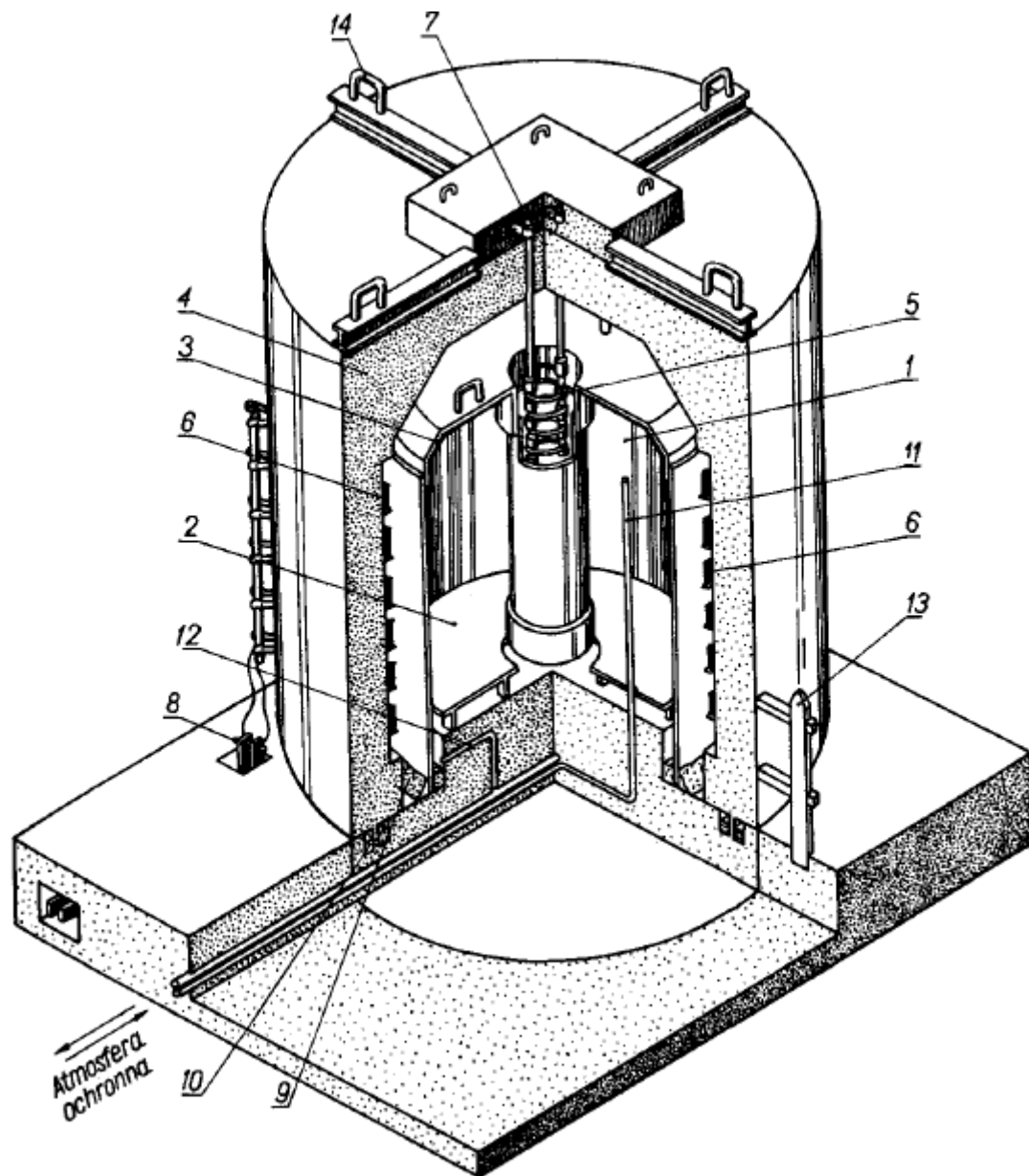
7 - ekran



Piec fluidalny z rusztem rurowym

- 1 - złożo fluidalne,
- 2 - elementy grzejne,
- 3 - mufla,
- 4 - izolacja cieplna,
- 5 - ruszt rurowy,
- 6 - rura doprowadzająca gaz do rusztu,
- 7 - wlot gazu doprowadzanego do złoża,
- 8 - termoelement,
- 9 - wyciąg z osadnikiem pyłu

Piec kołpakowy



- 1 - komora grzejna,
- 2 - trzon,
- 3 - mufla, żaroodporna,
- 4 - kołpak,
- 5 - centralny element grzejny,
- 6 - zewnętrzne elementy grzejne w kołpaku,
- 7 - doprowadzenia prądowe do centralnego elementu grzejnego,
- 8 - doprowadzenia prądowe do zewnętrznych elementów grzejnych,
- 9 - uszczelnienie piaskowe muflы,
- 10 - uszczelnienie wodne kołpaka,
- 11 - doprowadzenie atmosfery ochronnej,
- 12 - odprowadzenie atmosfery ochronnej,
- 13 - trzpień centrujący kołpak,
- 14 - uchwyt do podnoszenia kołpaka

Piece kołpakowe nazywane są także dzwonowymi. Składają się z jednego lub kilku identycznych nieruchomych trzonów i z podnoszonego kołpaka (dzwonu), który tworzą ściany boczne i sklepienie. Piece mają kształt cylindryczny bądź prostopadłościenny, z elementami grzejnymi umieszczonymi w ścianach bocznych oraz w części centralnej - jeśli piec przeznaczony jest do nagrzewania np. kręgów drutu lub taśmy. Ładowanie pieców odbywa się przy użyciu dźwigów przez ustawienie wsadu na trzonie.

Piece elewatorowe mają kształt prostopadłościenny i składają się z dwóch zasadniczych części: nieruchomej komory umieszczonej 3 ÷ 4 m na poziomie zerowym hali i podnoszonego trzonu (spodu). Piec jest więc ładowany od dołu. Z reguły jedna komora przeznaczona jest do współpracy z dwoma trzonami, których konstrukcja umożliwia nie tylko ruch pionowy, lecz także poziomy, co ułatwia załadunek przy użyciu dźwigów. Metalowe elementy grzejne umieszcza się na ścianach bocznych i w trzonie. Pojemność użytkowa tych pieców sięga dziesiątek Mg, a moce - 600 kW, temperatury robocze - 1200°C. Są to piece oszczędne pod względem energetycznym, podobnie jak piece kołpakowe.

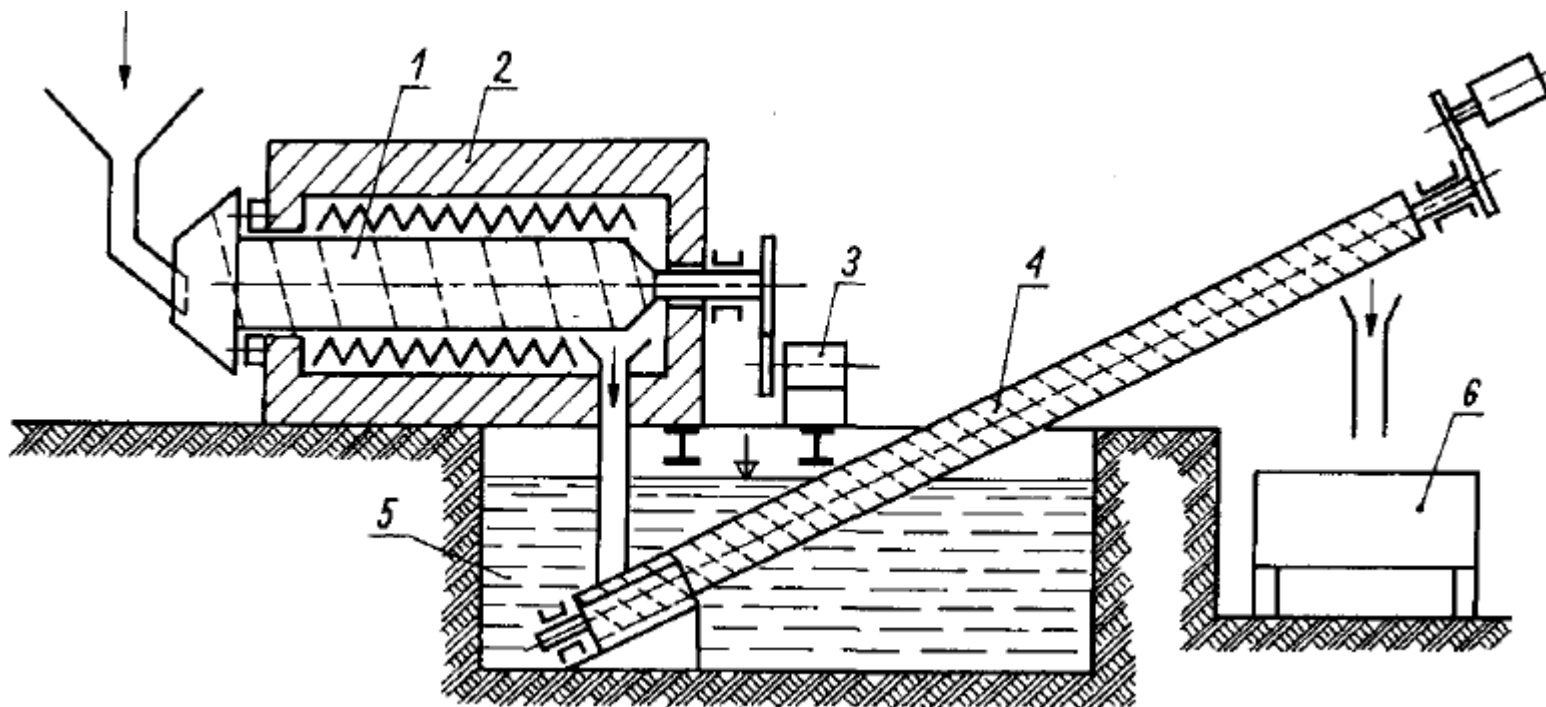
Piece wieżowe mają komory w kształcie wydłużonego cylindra usytuowanego pionowo, przy czym wsad jest ładowany i wyładowywany przez ten sam otwór od dołu. By było to możliwe, piec jest ustawiony na wysokich podporach zaś wsad, po przymocowaniu do wieszaków, jest podciągany do wnętrza pieca na łańcuchach, napędzanych za pośrednictwem kół ciągnących umieszczonych na zewnątrz pieca. Ze względu na bardzo trudne warunki pracy układu podwieszenia wsadu, temperatura pracy tych pieców nie przekracza 700°C.

Piece wysuwne są odmianą pieców komorowych. Istotna różnica polega na odmiennym rozwiązaniu sposobu załadunku. Spód pieca i jego przednia ścianka, zabudowane na przesuwanej po szynach podstawie, umożliwiają załadunek ciężkich wsadów (do 100 Mg) przy użyciu dźwigów. Moce pieców sięgają 5 MW, a zasilanie elementów grzejnych zlokalizowanych na częściach ruchomych odbywa się przy użyciu giętkich kabli.

Piece przechylne należą do kategorii pieców obrotowych. Wsad znajduje się w krótkiej poziomej stalowej lub staliwnej muflie o geometrii kołowej. Jest ona umieszczona koncentrycznie w komorze grzejnej o przekroju w kształcie koła lub wieloboku. Elementy grzejne zlokalizowane są na ścianie lub ścianach bocznych komory. Mufla ma niejednakowy przekrój. Jej część robocza (środkowa) ma większą średnicę aniżeli części końcowe, które wystają poza komorę przechodząc przez jej ściany czołowe, w których są ułożyskowane.

Piece wahadłowe są skonstruowane w sposób umożliwiający w czasie procesu grzejnego wahadłowe ich odchylenie od osi poziomej. Drobne elementy wsadowe ulegają przemieszczaniu wzdłuż komory, co sprzyja ujednorodnieniu ich temperatury. Są one mniej rozpowszechnione w porównaniu z przechylnymi. Piece bębnowe są odmianą pieców przechylnych. Znamionuje je mufla mająca kształt cylindra lub wielościanu z występami na wewnętrznej ścianie. Mufla obracając się wokół własnej osi zbliżonej do poziomej, powoduje stałe przemieszczanie wsadu, który bywa także zanurzany w aktywnych chemicznie mediach proszkowych.

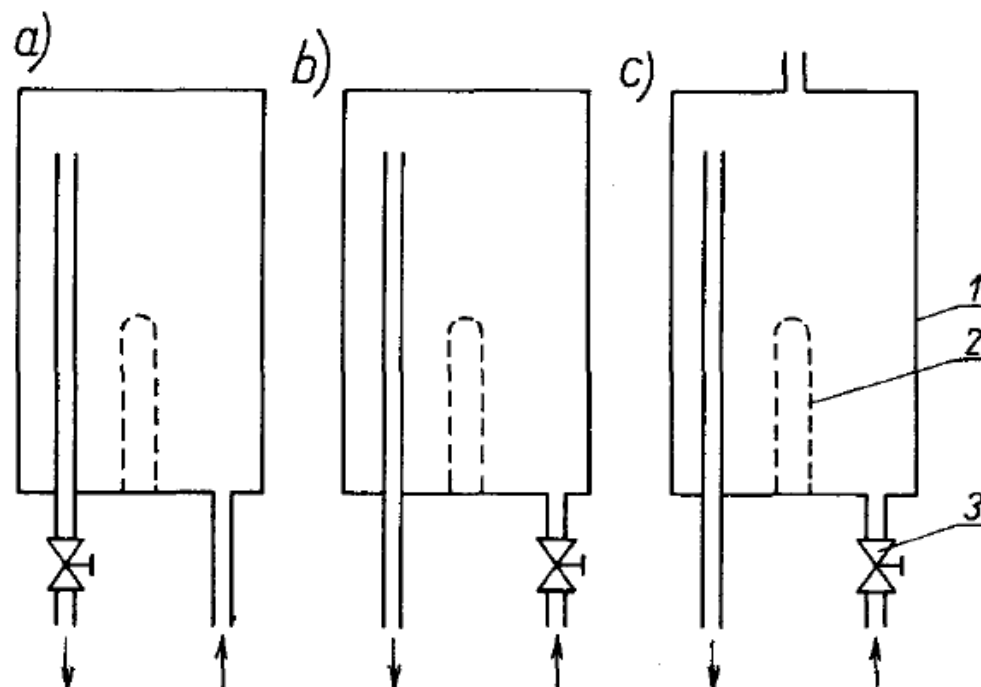
Piece obrotowe mają konstrukcję cylindryczną z prętowym elementem grzejnym z grafitu usytuowanym w osi poziomej, wokół której piec wykonuje obroty o kąt od 15° do 160° . Ich temperatury znamionowe sięgają 1500°C . Są one przeznaczone do topienia metali. W czasie obrotów pieca metal odbiera ciepło akumulowane w części wymurówki, z którą wsad nie styka się, ponieważ lustro pieca znajduje się poniżej osi pieca. Intensywne nagrzewanie się wymurówki spowodowane jest wysoką temperaturą elementu grzejnego (do 2500°C). Piece te są obecnie rzadko stosowane, m.in. ze względu na silne utlenianie się grafitu oraz złożony układ zasilania.



Piec bębnowy

- 1 - bęben,
- 2 - komora grzejna,
- 3 - napęd bębna,
- 4 - mechanizm wyładowczy,
- 5 - kąpiel hartownicza,
- 6 - pojemnik na obrobiony wsad

Ogrzewacze wody i warki są urządzeniami zbiornikowymi przeznaczonymi do nagrzewania i ewentualnego przetrzymywania wody w układach ogrzewniczych (ogrzewacze) oraz nagrzewania i gotowania wody przeznaczonej do innych celów niż ogrzewanie pomieszczeń, np. wody pitnej (warki). Urządzenia do tych celów mają pojemności od 5 do 5000 dcm³. Ich szczegółowe rozwiązania zależą od wymaganej wydajności, liczby punktów odbioru wody, czasu jej poboru i wymaganej temperatury. Ogrzewacze wodne stosuje się także jako odbiorniki pozaszczytowe, niekiedy w układach ogrzewania skojarzonego elektryczno-paliwowych.

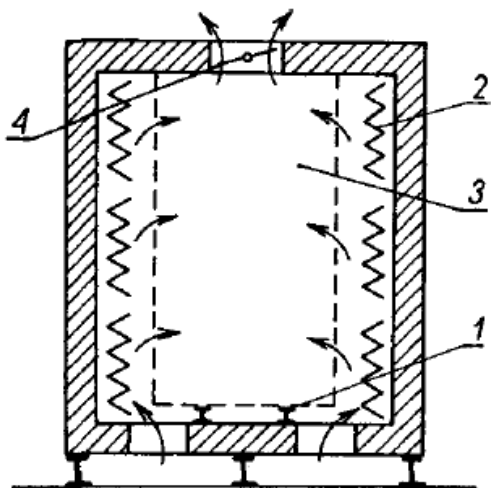


Warki:

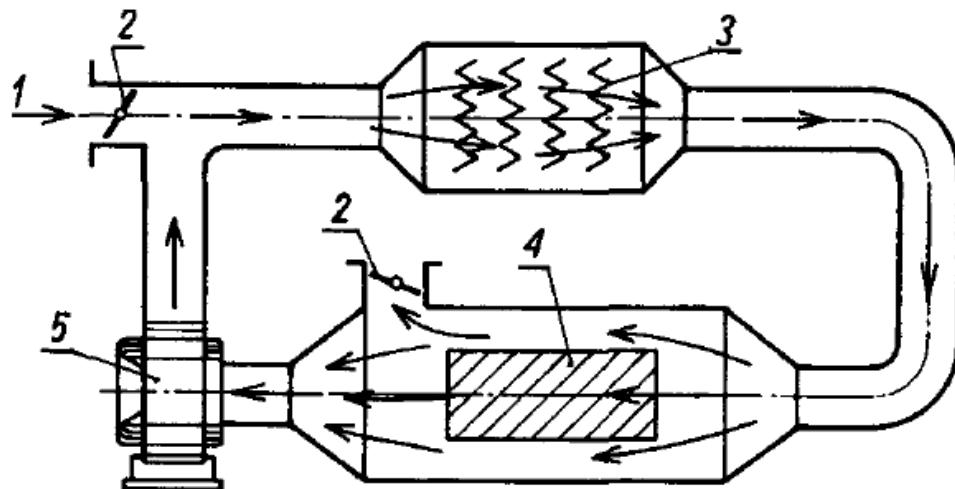
- a) zamknięty;
- b) z otwartym wylotem;
- c) otwarty
- 1 - zbiornik,
- 2 - element grzejny, 3 - zawór

Cieplarki są urządzeniami komorowymi pozwalającymi na utrzymanie w komorze grzejnej stałej temperatury w granicach od temperatury otoczenia do 100°C. Ich odmianami są inkubatory, wylęgarki. Podstawowe wymagania stawiane cieplarkom wiążą się ze stałością i równomiernością temperatury w przestrzeni użytkowej. Z tego względu niektóre rodzaje cieplarek wykonuje się z płaszczem wodnym. Do tej kategorii grzejników komorowych można także zaliczyć wyjaławiacze suche (sterylizatory) do narzędzi chirurgicznych o znacznie wyższej temperaturze znamionowej aniżeli cieplarki.

Suszarki są odmianą pieców niskotemperaturowych przeznaczonych do nagrzewania pośredniego wsadów w temperaturze nie przekraczającej 300°C w celu ich wysuszenia. Wyodrębnia się suszarki z konwekcją naturalną i wymuszoną. Suszarki z konwekcją naturalną mają kształt prostopadłościenny lub dopasowany do wsadu, co uzyskuje się m.in. stosując konstrukcję segmentową. Elementy grzejne umieszcza się w dolnej części suszarki lub na jej ścianach. Niekiedy są one ekranowane w celu wyeliminowania nagrzewania wsadu przez promieniowanie.



Suszarka z konwekcją naturalną
 1 - stojak do umieszczenia wsadu,
 2 - elementy grzejne,
 3 - przestrzeń grzejna,
 4 - przesłona regulacyjna



Suszarka z konwekcją wymuszoną
 1 - wlot świeżego powietrza,
 2 - przesłona regulacyjna,
 3 - elementy grzejne,
 4 - wsad w komorze,
 5 - wentylator

Parniki zalicza się do kategorii elektrycznych przyrządów grzejnych. Zasadniczą część parnika stanowi kocioł izolowany cieplnie zawierający pojemnik na ziemniaki, zbiornik wodny oraz jeden lub kilka elementów grzejnych. Pojemności parników dochodzą do 250 l, a sprawności są nie mniejsze niż 75%.

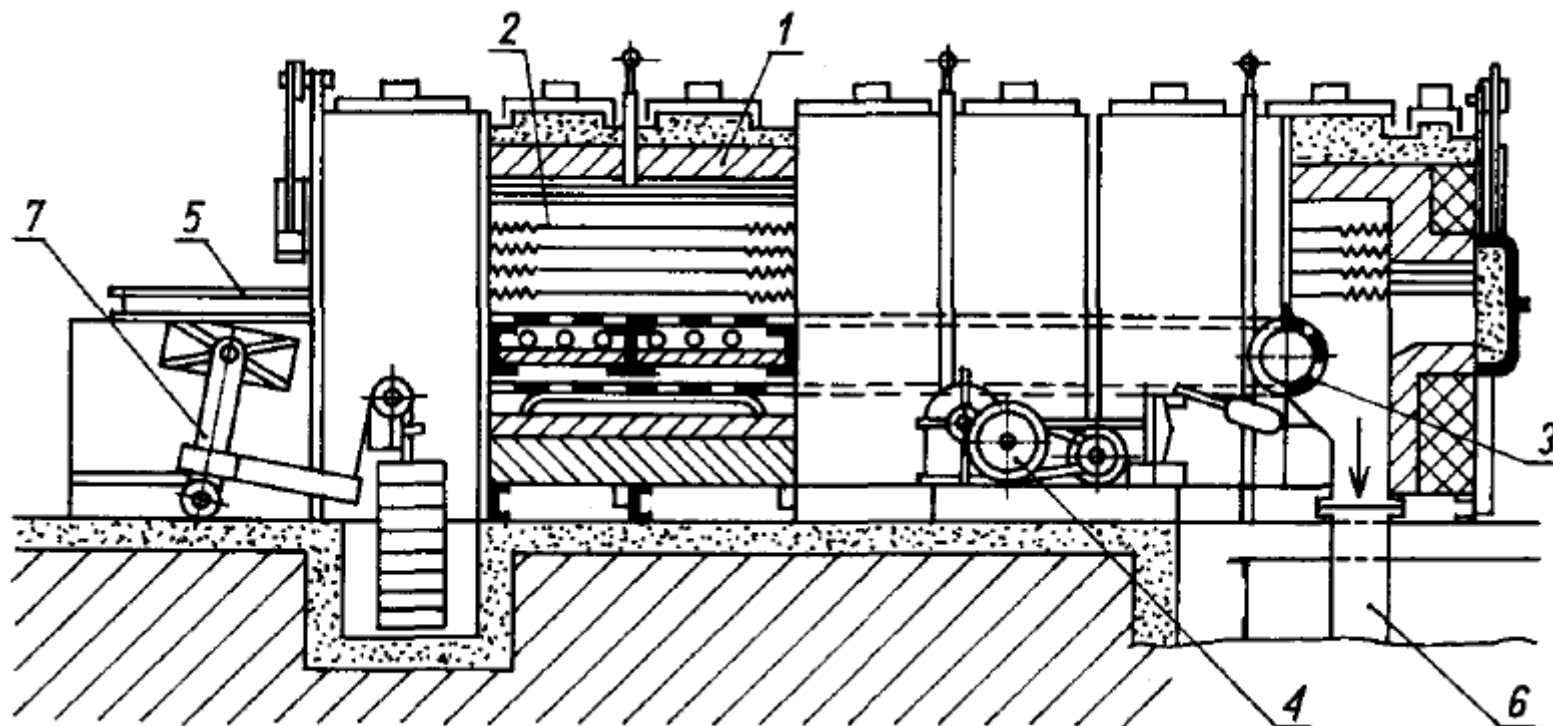
Urządzenia elektrotermiczne powszechnego użytku. Naczynia do nagrzewania wody i potraw, piekarniki, prociże, frytownice. Są to w przeważającej mierze urządzenia małej mocy z różnymi rodzajami elementów grzejnych, wyposażone niekiedy tylko w regulatory bądź ograniczniki temperatury. Do najnowszych rozwiązań w tej grupie przyrządów należą piekarniki samooczyszczające się z wymuszonym ruchem atmosfery, polepszającym wymianę ciepła ze wsadem. Oczyszczanie komory piekarnika ze wszystkich pozostających w jego komorze substancji, np. tłuszczów, następuje w wyniku okresowego podwyższania temperatury komory do 300°C (oczyszczanie pyrolityczne) lub 500°C (oczyszczanie katalityczne).

URZĄDZENIA PRZELOTOWE

W urządzeniu przelotowym wsad w czasie nagrzewania ulega przemieszczaniu przez komorę grzejną, zazwyczaj od jednego otworu, przez który jest ładowany, do drugiego otworu, przez który jest wyładowywany. Wyróżnikiem urządzeń rezystancyjnych pośrednich komorowych przelotowych - z nielicznymi wyjątkami - są te ich cechy konstrukcyjne, które wiążą się z ruchem wsadu w czasie jego nagrzewania.

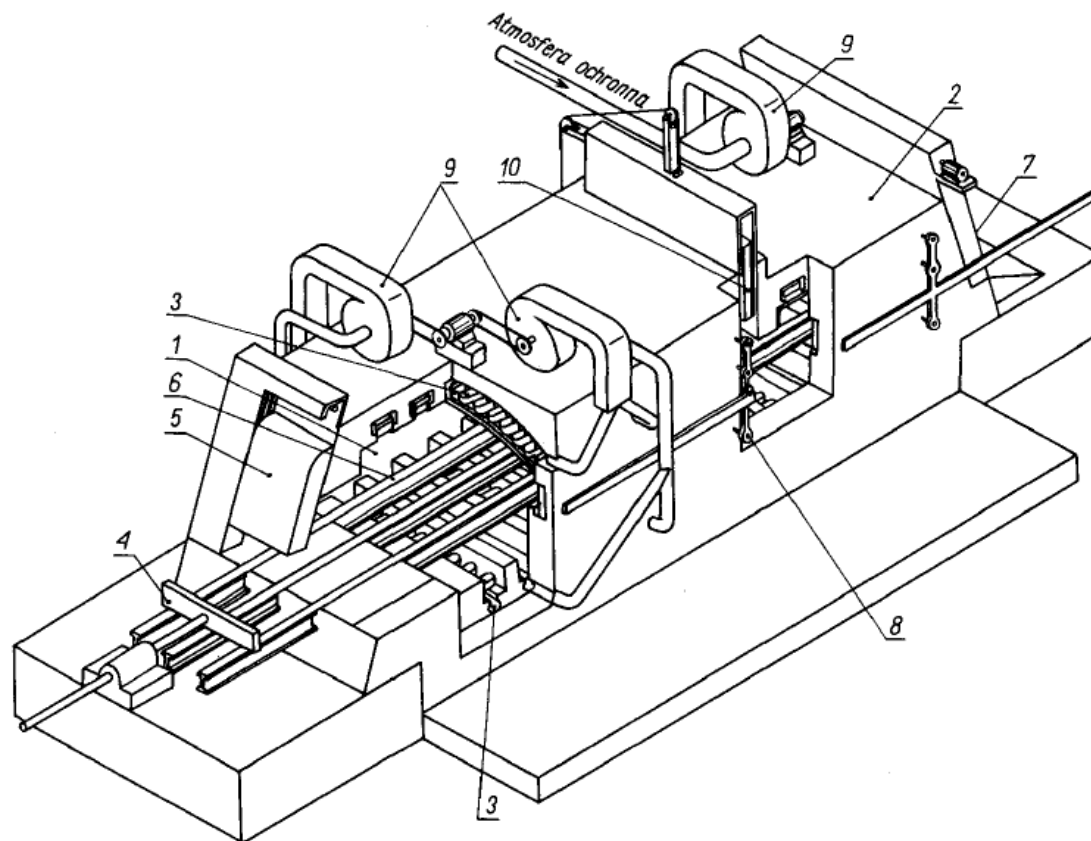
W obowiązujących normach wyodrębnia się następujące piece: taśmowe, przepychowe, wózkowe (przetokowe), rolkowe, kroczące, przewłokowe, komorowe, karuzelowe, okrężne, wstrząsowe (wibracyjne) i ślimakowe. Pierwszych pięć z wymienionych 11 rodzajów pieców zalicza się do tunelowych zaś dwa ostatnie - do grawitacyjnych. Pozostałe cztery rodzaje tworzą oddzielne grupy. Piece przelotowe stosuje się w produkcji masowej. Piece tunelowe znamienne są tym, że ich komora grzejna jest wydłużona w kierunku poziomym. W piecach grawitacyjnych wsad przesuwa się pod wpływem siły ciężkości.

Piece karuzelowe, wstrząsowe, okrężne, wibracyjne i ślimakowe budowane są zawsze z jedną strefą grzejną (jednostrefowe). Pozostałe piece mają na ogół wiele stref grzejnych, a przy tym mogą być jedno- lub wielotorowe, czyli wyposażone w dwa lub więcej równoległych układów transportowych zlokalizowanych w jednej lub kilku komorach. Umożliwia to nagrzewanie wsadu według zróżnicowanych charakterystyk



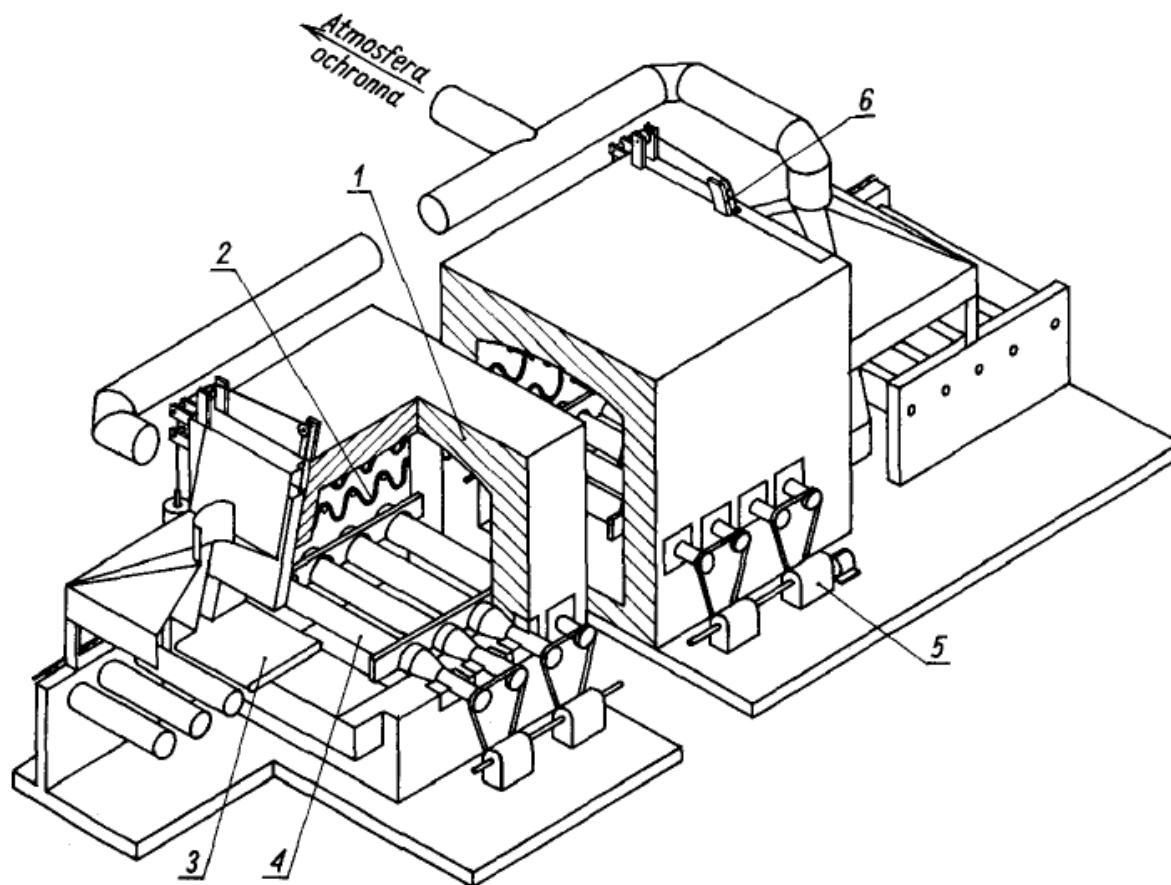
Piec taśmowy

1 - izolacja cieplna komory, 2 - elementy grzejne, 3 - taśma transportowa, 4 - napęd taśmy, 5 - stół załadowczy, 6 - zsył wsadu, 7 - urządzenie naprężające taśmę



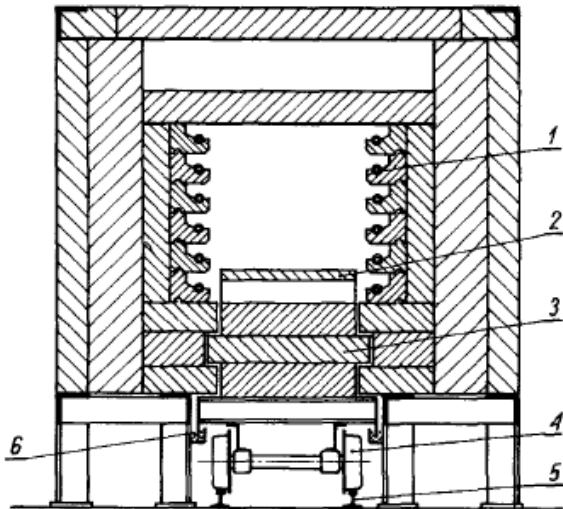
Piec przepychowy wielostrefowy

1 - strefa nawęglania, 2 - strefa nagrzewania do hartowania, 3 - elementy grzejne, 4 - wpycharka, 5 - drzwi zamykające otwór załadowczy, 6 - szyny do przenoszenia wsadu, 7 - drzwi zamykające otwór wyładowczy, 8 - doprowadzenia prądowe, 9 - wentylatory wymuszające ruch atmosfery piecowej, 10 - zasuwa rozdzielająca strefy pieca



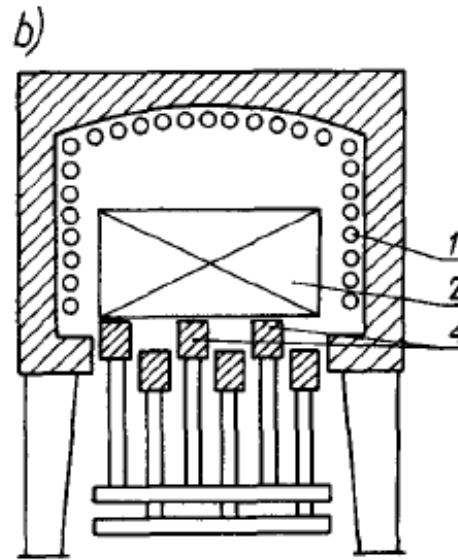
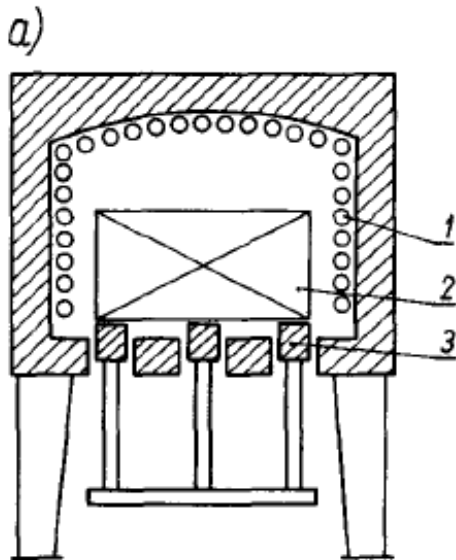
Piec rolkowy

1 - izolacja komory roboczej, 2 - elementy grzejne, 3 - otwór załadowczy, 4 - rolki trzonu, 5 – napęd rolek, 6 - drzwi otworu wyładowczego



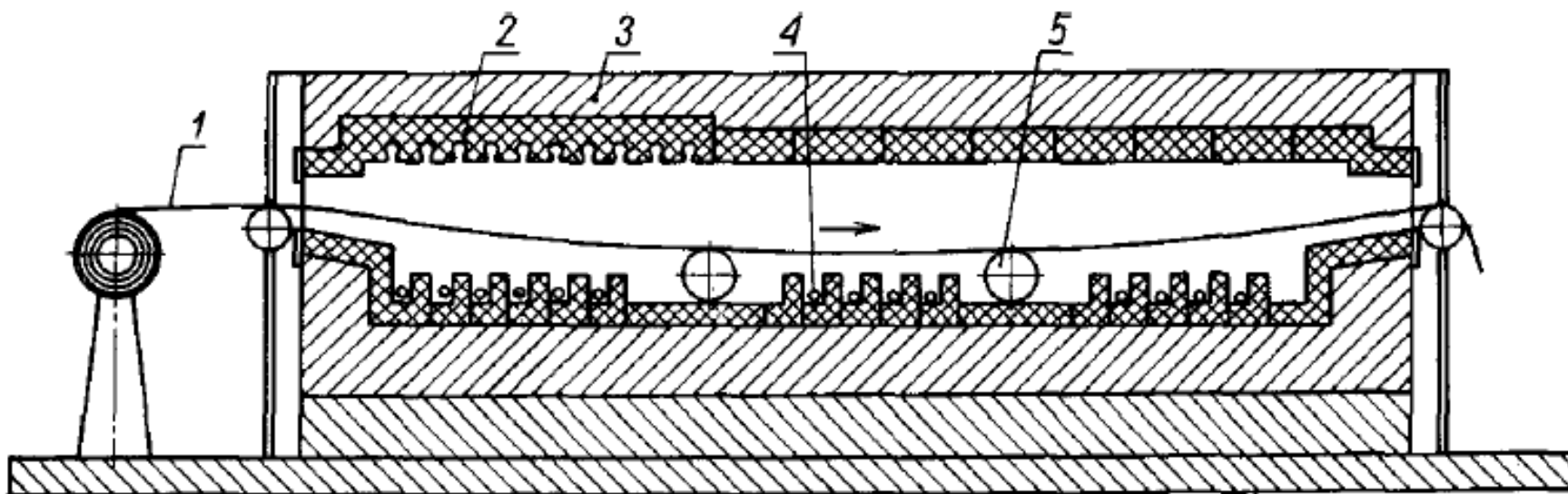
Piec wózkowy (przetokowy)

- 1 - elementy grzejne,
- 2 - płyta denna,
- 3 - przetaczany trzon,
- 4 - koła jezdne,
- 5 - tor,
- 6 - uszczelnienie piaskowe komory grzejnej



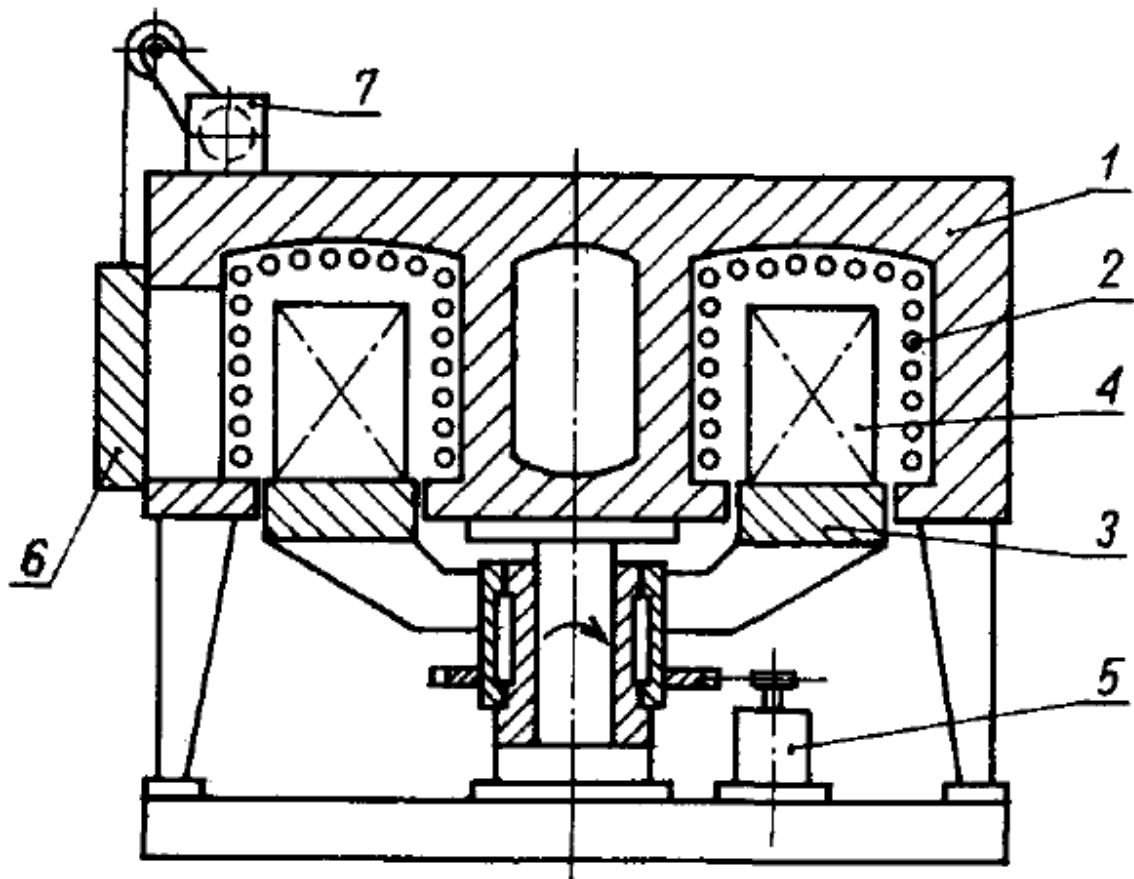
Piece kroczące:

- a) z trzonem pojedynczym;
- b) z trzonem podwójnym
- 1 - elementy grzejne,
- 2 - wsad,
- 3 - element trzonu pojedynczego,
- 4 - element trzonu podwójnego



Piec przewłokowy

- 1 - wsad w postaci drutu lub taśmy,
- 2 - wyprawa ogniotrwała,
- 3 - termoizolacja,
- 4 - elementy grzejne,
- 5 - rolki podpierające wsad

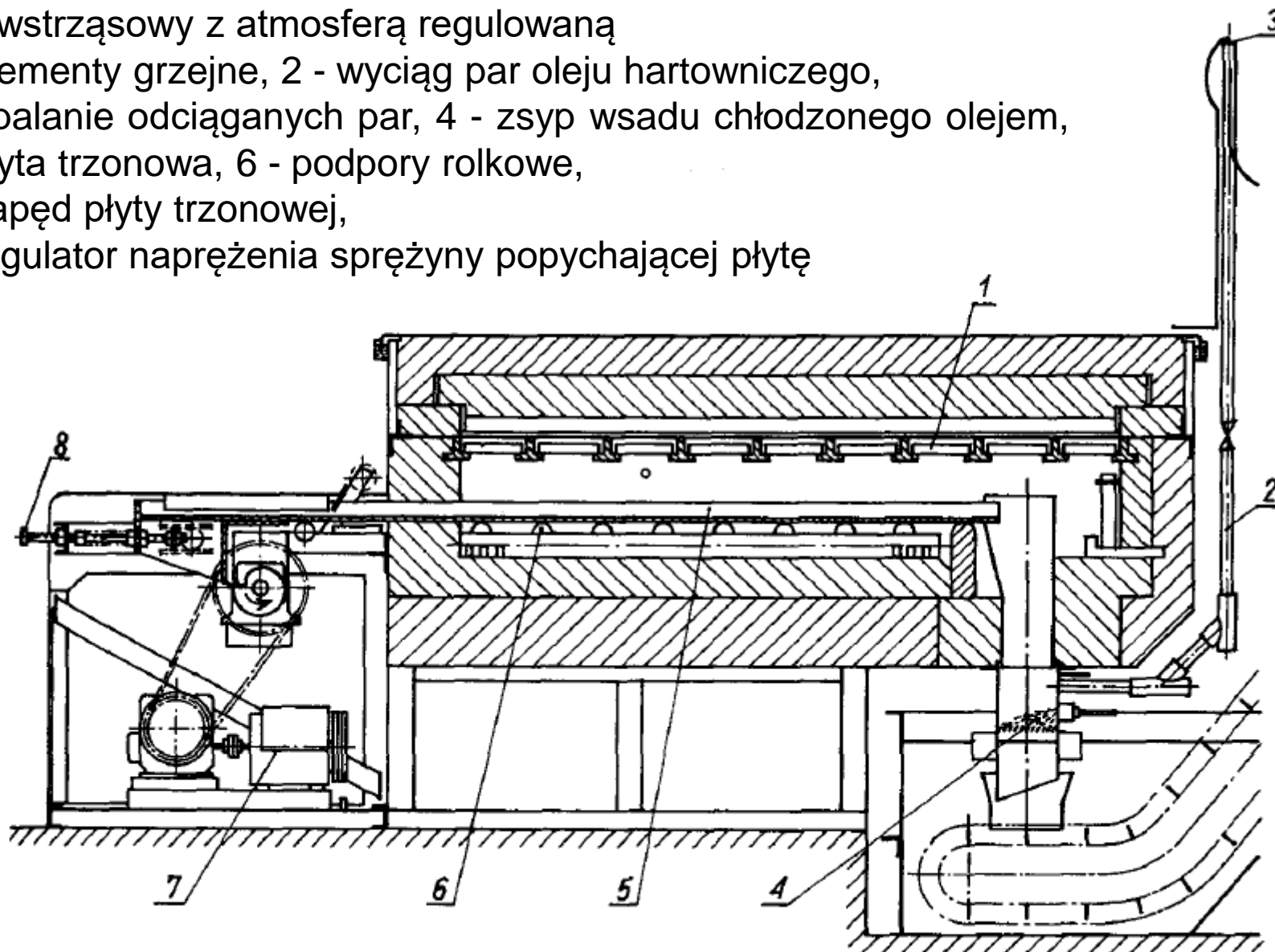


Piec karuzelowy

- 1 - termoizolacja, 2 - elementy grzejne, 3 - trzon, 4 - wsad, 5 - napęd trzonu, 6 - drzwi, 7 - mechanizm otwierania drzwi

Piec wstrząsowy z atmosferą regulowaną

- 1 - elementy grzejne, 2 - wyciąg par oleju hartowniczego,
- 3 - spalanie odciąganych par, 4 - zsył wsadu chłodzonego olejem,
- 5 - płyta trzonowa, 6 - podpory rolkowe,
- 7 - napęd płyty trzonowej,
- 8 - regulator naprężenia sprężyny popychającej płytę



Piece okrężne są piecami przelotowymi, w których wsad jest zawieszony na okrężnym przenośniku, który przesuwa się w płaszczyźnie pionowej lub poziomej. Piece o konstrukcji pionowej wykonuje się wówczas gdy brak miejsca, uniemożliwia stosowanie pieców tunelowych. Przenośnik zawieszony jest w górnej; części komory na kole napędowym zaś koło umieszczone u dołu służy do naciągu przenośnika. Ze względu na ograniczoną wytrzymałość przenośnika, pieców tych w zasadzie nie buduje się na temperatury wyższe niż 600°C [298].

Piece ślimakowe lub o przenośniku ślimakowym są znamienne tym, że ruch wsadu w czasie nagrzewania realizowany jest przy użyciu ślimaka wbudowanego w bęben. Są to piece o komorze prostopadłościowej z elementami grzejnymi rozmieszczonymi na ścianach bocznych, spodzie i stropie. W komorze umieszczona jest mufla - bęben o długości od 1,5 do 3,0 m wykonana jako jednolity odlew lub łączona z segmentów. Wsad wprowadzany jest i wyprowadzany przez otwory w powierzchniach czołowych mufli. Są to piece co najwyżej dwustrefowe o maksymalnej temperaturze pracy 980°C. Bywają zaopatrywane w wentylatory w celu polepszenia przejmowania ciepła przez muflę-bęben.

Dziękuję za uwagę



mgr inż. Robert Czak

tel: 0048 603687444

mail: robert.czak@op.pl