

ТЕМА 8. Будова, технічне обслуговування та ремонт електричних апаратів. (11 год)

Урок №50. Електричні контакти. Природа виникнення і горіння електричної дуги.

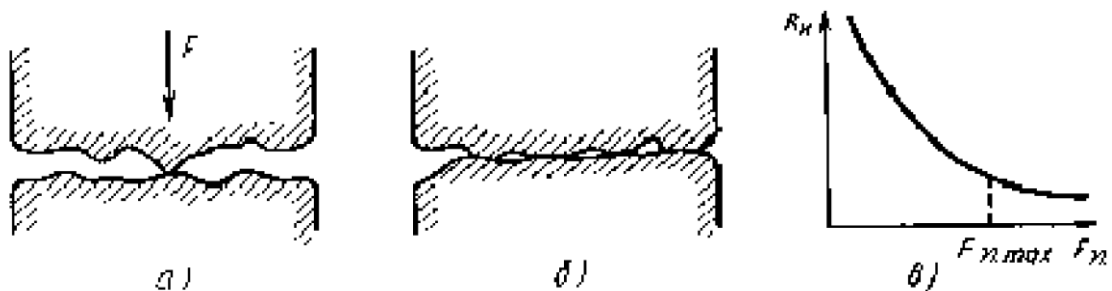
Електричні контакти, основні поняття. Типи контактів. Їх класифікація за призначенням. Матеріали контактів.

Природа виникнення і горіння електричної дуги. Способи гасіння дуги. Дугогасильні пристрої та їх конструкція при різних способах гасіння.

В комутаційних і електромеханічних елементах, які призначені для перемикання електричних кіл при ручному і автоматичному управлінні, базовим є контактний вузол. Саме надійність контактного вузла визначає працездатність будь-якої комутаційної апаратури.

Контактний вузол складається з рухомого і нерухомого контактів. Ці контакти можуть знаходитись у замкненому і розімкненому стані. В замкненому стані опір між контактами повинен бути мінімальним.

Цей опір називають опором контактного переходу. Здавалося б, для того, щоб забезпечити малий опір контактного переходу, потрібно збільшити площу зіткнення контактів. Однак, навіть при дуже ретельній шліфовці на поверхні контактів залишається багато мікровиступів і мікрозападин.



Мал. 50.1. Зміна опору контактного переходу в залежності від зусиль натиску

Тому площа поверхні, що реально контактує менша за площу контактів. Для того, щоб збільшити поверхню, що реально контактує, потрібно прикласти силу, яка притисне контакти один до одного. В першу мить при зближенні контактів вони стикаються лише в одній точці (мал. 50.1, а), площа якої дуже мала, а опір контактного переходу великий. Зусилля натиску F створює на малій площі більший тиск, що призводить до зім'ятості матеріалу контактів, збільшенню площі зіткнення і появи нових точок зіткнення (мал. 50.1, б). Питомий тиск зменшується, і процес наближення контактів і зім'ятості їх матеріалу закінчується тоді, коли цей питомий тиск зрівнюється з межею міцності матеріалу на зім'ятість. Характер залежності опору контактного переходу R_k від питомого контактного тиску F_n (мал. 50.1, в) показує, що збільшення F_n доцільно лише до певної межі, при якій опір R_k вже достатньо близький до мінімально можливого, що визначається

електропровідністю матеріалу контактів. Через замкнені контакти проходить струм I і вони нагріваються під дією теплоти, що виділяється і відповідає потужності втрат в контактному переході: $P_k = I^2 R_k$. Тому допустиме значення струму, що проходить через контакти, залежить від термічної міцності контактів і від умов тепловідводу, тобто від конструкції і розмірів контактів.

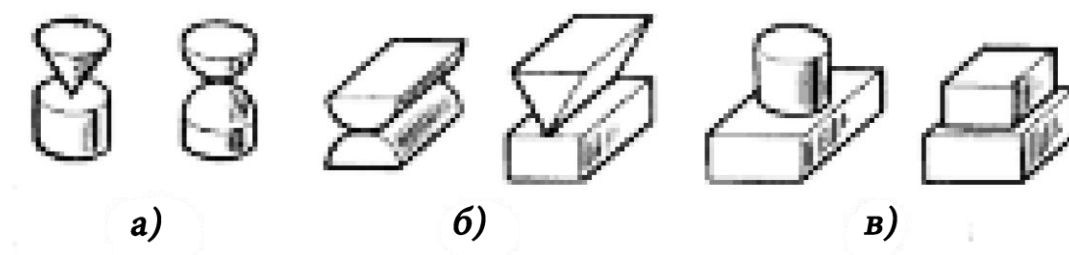
В розімкненому стані опір контактів повинен наближатись до нескінченності (практично мільйони Ом), що забезпечується ізолювальними властивостями середовища в контактному проміжку і відстанню між контактами. В розімкненому стані під дією хімічного впливу навколишнього середовища відбувається корозія контактів. Ця корозія полягає у виникненні оксидних (під дією кисню повітря) і сульфідних (під дією сірки повітря) плівок. В деяких матеріалах (наприклад, в міді) ці плівки мають великий опір, що призводить до збільшення опору контактного переходу при замиканні контактів.

Найбільш складний режим роботи контактів пов'язаний з розмиканням електричного кола, оскільки при розмиканні контактів між ними виникає електрична дуга. При цьому відбувається розплавлення контактів і їх зношування, яке називається електричною ерозією.

Таким чином, під час роботи контакти підлягають механічному стиранню, хімічній корозії та електричній ерозії. Зменшити негативний вплив цих факторів можна при правильному виборі конструкції контактів і їх матеріалу.

Конструктивні типи контактів. *За формою поверхонь, що контактують всі конструкції контактів можуть бути розділені на три основних типи: точкові, лінійні і площинні.* Точкові контакти (мал. 50.2, а) мають вигляд конусів або напівсфер, які стикаються з площиною або напівсферою в одній точці. Такі контакти призначені для перемикання малих струмів. Лінійні контакти (мал. 50.2, б) мають вигляд двох циліндричних поверхонь або призми і площини, що стикаються по лінії. Вони призначені для середніх і великих струмів. Площинні контакти (мал. 50.2, в) мають стикання по площині і призначені для великих струмів.

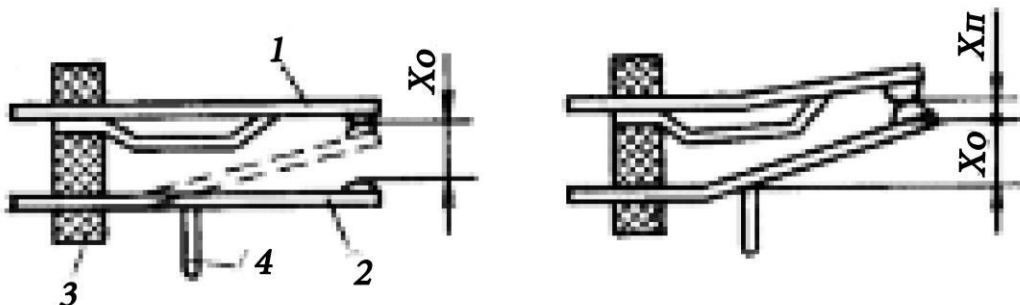
Контактні вузли включають, окрім контактів, кручені або плоскі пружини, які забезпечують силу натискання між контактами.



Мал. 50.2. Основні типи контактів

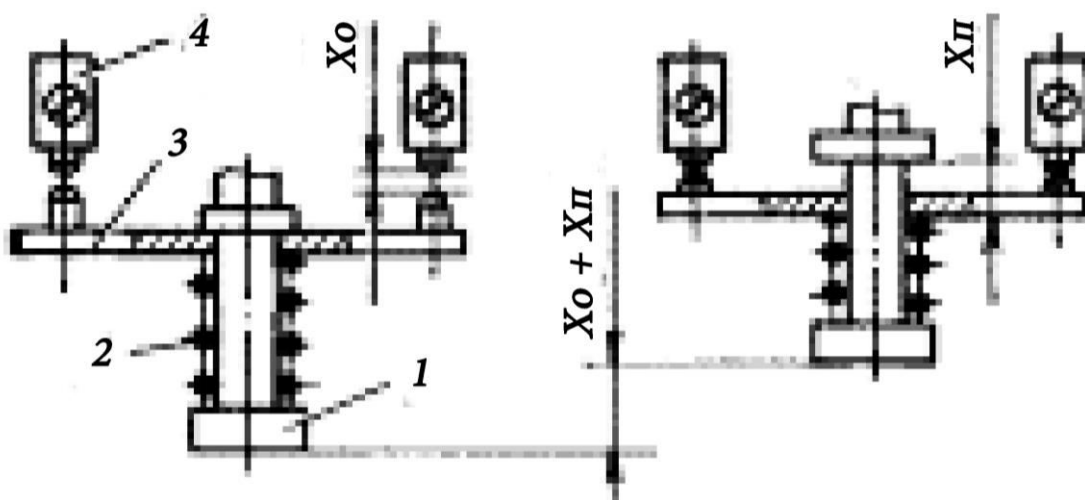
На мал. 50.3. наведений важільний контактний вузол, який складається з двох плоских пружин з нерухомим 1 і рухомим 2 контактами.

Пружини жорстко закріплені одним кінцем в ізоляційній основі 3. Переміщення рухомого контакту 2 відбувається під впливом упора 4. Після того, як рухомий контакт 2 переміститься на величину розхилу контактів X_0 , відбудеться замикання контактів. Обидві пружини отримають додатковий прогин на величину прогину контактів $X_п$, оскільки рух упора 4 трохи подовжиться. За рахунок цього відбудеться прослизання контактів (його ще називають притиранням), яке необхідне для знищення пилу і оксидної плівки з поверхні контактів.



Мал. 50.3. Важільний контактний вузол

На мал. 50.4. показаний мостовий контактний вузол, який забезпечує розрив електричного кола в двох місцях, що підвищує надійність роботи. При переміщенні упора 1, місток з двома рухомими контактами 3 переміщується в напрямку двох нерухомих контактів 4 до стикання контактів. Кручена пружина 2 забезпечує зусилля притискання і можливість самовстановлення рухомих контактів відносно нерухомих, що компенсує зношування контактів і деякі неточності при їх виготовленні. Повний хід упора 1 складається з розхилу контактів X_0 і провалу $X_п$ (аналогічно контактному вузлу на мал. 50.3).



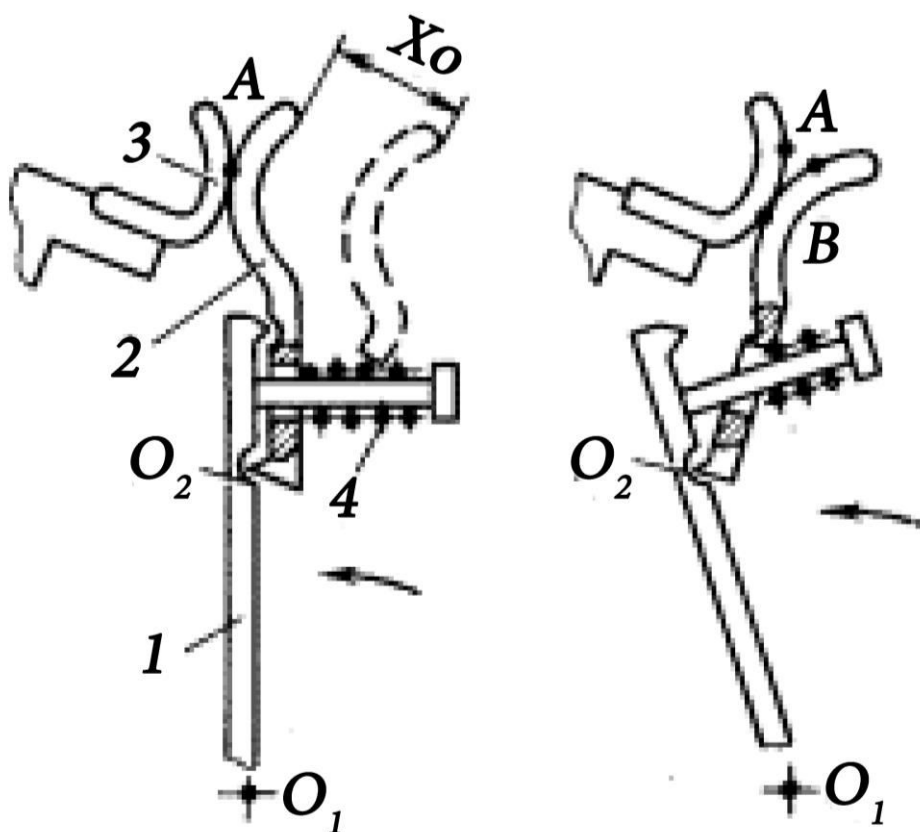
Мал. 50.4. Мостовий контактний вузол

На мал. 50.5. наведений важільний контактний вузол з шарнірним закріпленням рухомого контакту 2, який торкається нерухомого контакту 3 по лінії. Контактне натискання

відбувається за допомогою пружини 4.

Переміщення рухомого контакту відбувається при обертанні важеля 1 проти годинникової стрілки відносно осі O_1 . Спочатку рухомий контакт 2 переміщується на величину розхилу контакту до стикання з нерухомим контактом 3 в точці А.

Після цього рухомий контакт здійснює складний рух, обертаючись одночасно відносно осі O_2 і разом із важелем 1 відносно осі O_1 . В результаті рухомий контакт 2 перекочується по нерухомому 3. В замкненому стані контактування відбувається в точці В. Перекочування сприяє очищенню контактів від окисних плівок, а головне - точка В не підлягає електричній ерозії під час розмикання контактів.



Мал. 50.5. Важільний контактний вузол з контактами, які перекочуються

Матеріали контактів. Обираючи матеріал контактів, необхідно забезпечити виконання ряду вимог: велику механічну стійкість, високу температуру плавлення, високу теплопровідність і електропровідність, стійкість проти корозії та ерозії. Низька вартість бажана, але вона не відноситься до основних вимог. Основні вимоги - це ті, які забезпечують високу надійність. Відомі випадки, коли відмова лише одного контакту призводить до втрат, які в мільйони разів перевищують вартість цього контакту.

Перерахованим вище вимогам найбільшою мірою задовольняють срібло, золото, платина та їх сплави - вольфрам, мідь.

Природа виникнення і горіння електричної дуги. Способи гасіння дуги

При розмиканні електричного кола виникає електричний розряд у вигляді електричної дуги. Для появи електричної дуги достатньо, щоб напруга на контактах була вище 10 В при струмі в ланцюзі порядку 0,1 А і більше. При значних напругах і струмах температура всередині дуги може досягати 10 ... 15 тис. °С, в результаті чого плавляться контакти і струмопровідні частини.

При напругах 110 кВ і вище довжина дуги може досягати декількох метрів. Тому електрична дуга, особливо в потужних силових ланцюгах, на напругу вище 1 кВ являє собою велику небезпеку, хоча серйозні наслідки можуть бути і в установках на напругу нижче 1 кВ. Внаслідок цього електричну дугу необхідно максимально обмежити і швидко погасити в ланцюгах на напругу як вище, так і нижче 1 кВ.

Причини виникнення електричної дуги. Процес утворення електричної дуги спрощено може бути представлено таким чином. При розбіжності контактів спочатку зменшується контактний тиск і відповідно контактна поверхня, збільшуються перехідний опір, щільність струму і температура - починаються місцеві (на окремих ділянках площі контактів) перегріву, які надалі сприяють термоелектронній емісії, коли під впливом високої температури збільшується швидкість руху електронів і вони вириваються з поверхні електрода.

У момент розбіжності контактів, тобто розриву ланцюга, на контактному проміжку швидко відновлюється напруга, оскільки при цьому відстань між контактами мала, виникає електричне поле високої напруженості, під дією якого з поверхні електрода вириваються електрони. Вони розганяються в електричному полі і при ударі в нейтральний атом віддають йому свою кінетичну енергію. Якщо цієї енергії достатньо, щоб відірвати хоча б один електрон з оболонки нейтрального атома, то відбувається процес іонізації.

Утворені вільні електрони і іони складають плазму стовбура дуги, тобто іонізований канал, в якому горить дуга і забезпечується безперервний рух частинок. При цьому негативно заряджені частинки, в першу чергу електрони, рухаються в одному напрямку (до анода), а атоми і молекули газів, позбавлені одного або декількох електронів, - позитивно заряджені частинки - в протилежному напрямку (до катода). Провідність плазми близька до провідності металів.

У стовбурі дуги проходить великий струм і створюється висока температура. Така температура стовбура дуги призводить до термоіонізації - процесу утворення іонів внаслідок зіткнення молекул і атомів, що володіють великою кінетичною енергією при високих швидкостях їх руху (молекули і атоми середовища, де горить дуга, розпадаються на електрони і позитивно заряджені іони). Інтенсивна термоіонізація підтримує високу провідність плазми. Тому падіння напруги по довжині дуги невелике.

В електричній дузі безперервно протікають два процеси: крім іонізації, також деіонізація атомів і молекул. Остання відбувається в основному шляхом дифузії, тобто перенесення заряджених частинок у навколишнє середовище, і рекомбінації електронів і позитивно заряджених іонів, які возз'єднуються в нейтральні частинки з віддачею енергії, витраченої на їх розпад. При цьому відбувається тепловідвід в навколишнє середовище.

Таким чином, можна розрізнити три стадії розглянутого процесу: запалювання дуги, коли внаслідок ударної іонізації і емісії електронів з катода починається дуговий розряд і інтенсивність іонізації вища, ніж де іонізації; стійке горіння дуги, підтримуване термоіонізацією в стовбурі дуги, коли інтенсивність іонізації і деіонізації однакова; згасання дуги, коли інтенсивність деіонізації вища, ніж іонізації.

Способи гасіння дуги в комутаційних електричних апаратах. Для того щоб відключити елементи електричного кола і виключити при цьому ушкодження комутаційного апарату, необхідно не тільки розімкнути його контакти, а й погасити між ними дугу, що з'являється. Процеси гасіння дуги, так само як і горіння, при змінному та постійному струмі різні. Це визначається тим, що в першому випадку струм в дузі кожен напівперіод проходить через нуль. У ці моменти виділення енергії в дузі припиняється і дуга щоразу мимовільно гасне, а потім знову спалахує.

Практично струм в дузі стає близьким нулю дещо раніше переходу через нуль, так як при зниженні струму енергія, що підводиться до дуги, зменшується, відповідно знижується температура дуги і припиняється термоіонізація. При цьому в дуговому проміжку інтенсивно йде процес деіонізації. Якщо в даний момент розімкнути і швидко розвести контакти, то наступний електричний пробій може не відбутися і ланцюг буде відключено без виникнення дуги. Однак практично це зробити вкрай складно, і тому приймають спеціальні заходи прискореного гасіння дуги, забезпечують охолодження дугового простору і зменшення числа заряджених частинок.

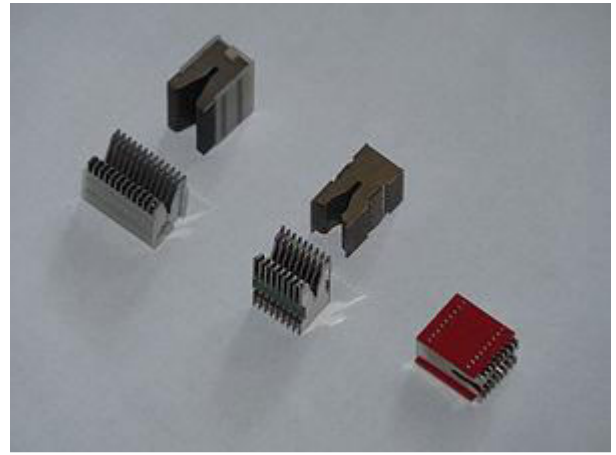
В результаті деіонізації поступово збільшується електрична міцність проміжку і одночасно зростає відновлююча напруга на ньому. Від співвідношення цих величин і залежить, чи загориться на чергову половину періоду дуга чи ні. Якщо електрична міцність проміжку зростає швидше і виявляється більшою відновлюючої напруги, дуга більше не загориться, в іншому ж випадку буде забезпечено стійке горіння дуги. Перша умова і визначає завдання гасіння дуги.

У комутаційних апаратах використовують різні способи гасіння дуги.

Подовження дуги. При розбіжності контактів у процесі відключення електричного кола дуга, що виникла розтягується. При цьому поліпшуються умови охолодження дуги, так як збільшується її поверхня і для горіння потрібна більша напруга.

Ділення довгої дуги на ряд коротких дуг. Якщо дугу, що утворилася при розмиканні

контактів, розділити на кілька коротких дуг, наприклад затягнувши її в металеву решітку, то вона згасне. Дуга зазвичай затягується в металеву решітку під впливом електромагнітного поля, що наводиться в пластинах решітки вихровими струмами. Цей спосіб гасіння дуги широко використовується в комутаційних апаратах на напругу нижче 1 кВ, зокрема в автоматичних повітряних вимикачах мал. 50.6).



Мал. 50.6. Дугогасні камери з деіонною ґраткою автоматичних вимикачів

Охолодження дуги у вузьких щілинах.

Гасіння дуги в малому обсязі полегшується. Тому в комутаційних апаратах широко використовують дугогасильні камери з поздовжніми щілинами (вісь такої щілини збігається за напрямком з віссю стовбура дуги). Така щілина зазвичай утворюється в камерах з ізоляційних дугостійких матеріалів (мал. 50.7). Завдяки зіткненню дуги з холодними поверхнями відбуваються її інтенсивне охолодження, дифузія заряджених частинок у



Мал. 50.7. Потужні електропневматичні контактори постійного струму з щілинними дугогасними камерами (1) і без. 2 - електропневматичні вентилі, 3 - циліндри привода, 4 - силові контакти.

навколишнє середовище і відповідно швидка деіонізація.

Крім щілин з плоскопаралельними стінками, застосовують також щілини з ребрами, виступами, розширеннями (кишенями). Все це призводить до деформації стовбура дуги і сприяє збільшенню площі зіткнення її з холодними стінками камери.

Втягування дуги у вузькі щілини зазвичай відбувається під дією магнітного поля, що взаємодіє з дугою, яка може розглядатися як провідник зі струмом.

Зовнішнє магнітне поле для переміщення дуги найбільш часто забезпечують за рахунок котушки, що включається послідовно з контактами, між якими виникає дуга. Гасіння дуги у вузьких щілинах використовують в апаратах на всі напруги .

Гасіння дуги високим тиском. При незмінній температурі ступінь іонізації газу падає з ростом тиску, при цьому зростає теплопровідність газу. За інших рівних умов це призводить

до посиленого охолодження дуги. Гасіння дуги за допомогою високого тиску, створюваного самою ж дугою в щільно закритих камерах, широко використовується в плавких запобіжниках і ряді інших апаратів.

Гасіння дуги в маслі. Якщо контакти вимикача поміщені в масло, то дуга, що виникає при їх розмиканні, призводить до інтенсивного випаровування масла. У результаті навколо дуги утворюється газовий міхур (оболонка), що складається в основному з водню (70 ... 80 %), а також парів масла. Виділені гази з великою швидкістю проникають безпосередньо в зону стовбура дуги, викликають перемішування холодного і гарячого газу в міхурі, забезпечують інтенсивне охолодження і відповідно деіонізацію дугового проміжку. Крім того, деіонізуючу здатність газів підвищує створюваний при швидкому розкладанні масла тиск всередині міхура.

Інтенсивність процесу гасіння дуги в маслі тим вище, чим ближче стикається дуга з маслом і швидше рухається масло по відношенню до дуги. Враховуючи це, дуговий розрив забезпечують замкнутим ізоляційним пристроєм - дугогасною камерою. У цих камерах створюється більш тісне зіткнення масла з дугою, а за допомогою ізоляційних пластин і вихлопних отворів утворюються робочі канали, по яких відбувається рух масла і газів, забезпечуючи інтенсивне обдування (дугтя) дуги.

Дугогасні камери за принципом дії поділяють на три основні групи: з автодугтям, коли високі тиск і швидкість руху газу в зоні дуги створюються за рахунок енергії, що виділяється в дузі, з примусовим масляним дугтям за допомогою спеціальних нагнітаючих гідравлічних механізмів, з магнітним гасінням в олії, коли дуга під дією магнітного поля переміщається у вузькі щілини.

Найбільш ефективні і прості дугогасні камери з автодугтям. Залежно від розташування каналів і вихлопних отворів розрізняють камери, в яких забезпечується інтенсивне обдування потоками газопарової суміші та олії вздовж дуги (поздовжнє дугтя) або поперек дуги (поперечне дугтя). Розглянуті способи гасіння дуги широко використовуються у вимикачах на напругу вище 1 кВ.

Інші способи гасіння дуги в апаратах на напругу вище 1 кВ. Крім зазначених вище способів гасіння дуги, використовують також: стиснене повітря, потоком якого уздовж або поперек обдувається дуга, забезпечуючи її інтенсивне охолодження (замість повітря застосовуються і інші гази, часто одержувані з твердих газогенеруючих матеріалів - фібри, вініпласту та ін. - за рахунок їх розкладу самою палаючою дугою); елегаз (шестифториста сірка), що володіє більш високою електричною міцністю, ніж повітря і водень, внаслідок чого дуга, що горить в цьому газі, навіть при атмосферному тиску досить швидко гаситься; високорозряджений газ (вакуум), при розмиканні контактів в якому дуга не загорається знову (гасне) після першого проходження струму через нуль.