

MARECHAL



electric



1 - Historique des techniques

2 - Principes fondamentaux

3 - Avantages du contact en bout

3 - Principe du DECONTACTEUR™

4 - Produits antidéflagrants

5 - Normes applicables

Dossier Technique 2009

Partie 2

LA RESISTANCE DE CONTACT PRINCIPES FONDAMENTAUX

La discontinuité d'un conducteur génère une résistance additionnelle appelée résistance de contact. Cette résistance est plus élevée que serait celle du conducteur lui-même en l'absence de cette discontinuité.

La valeur de cette résistance détermine la qualité du contact. Plus elle est élevée, plus la quantité de chaleur dégagée par le contact est élevée. Si cette température dépasse une certaine valeur, le contact se détériore.

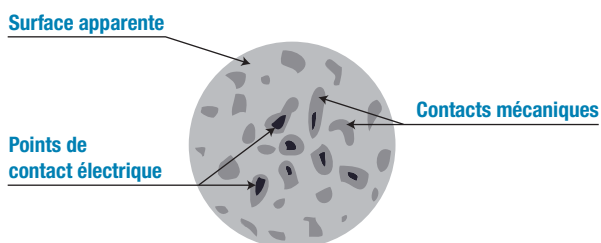
Ce phénomène peut se développer en un temps très court car la détérioration du contact est proportionnelle à son échauffement.

La qualité d'un contact dépend de deux paramètres :

- L'état des surfaces de contact,
- La force appliquée au contact.

Surface de contact

Le contact mécanique réel entre deux surfaces est composé d'un certain nombre de points qui représentent une surface de contact inférieure à la surface apparente, du fait de la rugosité des matériaux.



Les lignes de flux d'électrons utilisent seulement une partie de ces points entre les deux contacts.

Les électrons sont transférés dans un système Ohmique¹, par effet tunnel² ou par effet thermoélectronique³, en fonction de l'épaisseur de la couche isolante à traverser, formée par l'oxydation du matériau et la pollution environnante.

Tous les fabricants d'appareillage électrique de coupure utilisent des contacts à pastille en alliage d'argent, souvent bombés, soulignant la prépondérance de la force appliquée par rapport à la surface hypothétique de contact. Cette technique de contact est utilisée à l'exclusion de toute autre dans le domaine des relais, des contacteurs ou des disjoncteurs et à cet égard, les prises de courant à broche et alvéole sont devenues une exception.

¹ Contact dans lequel les électrons sont transmis directement de métal à métal.

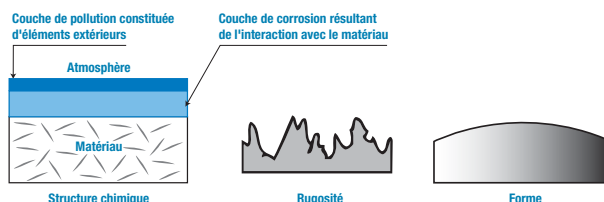
² Transfert d'électrons à travers une couche isolante mince.

³ Transfert d'électrons à travers une couche isolante épaisse.

État des surfaces de contact

Trois paramètres déterminent l'état d'une surface de contact :

- Sa structure chimique : elle résulte de la formation d'une couche de corrosion constituée d'éléments venus de l'atmosphère environnante (polluants) qui réagissent avec le matériau.
- Sa rugosité : elle est aléatoire et dépend des techniques de fabrication.
- Sa forme géométrique, qui détermine l'aire apparente de contact.



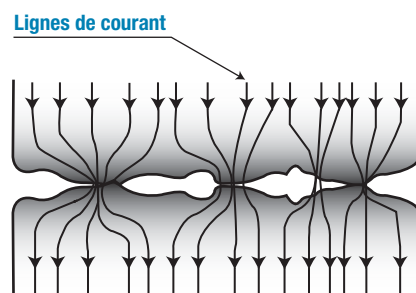
Évaluation de la résistance de contact

La résistance de contact est faite de deux termes :

- La résistance de constriction,
- La résistance de film.

Resistance de constriction

La résistance de constriction est due à la constriction des lignes de courant (flux d'électrons) aux points de contact électrique (appelés points de constriction).



Resistance de film

La résistance de film est due à la pollution et à la couche d'oxyde (couche de corrosion) à la surface des contacts.

La tribocorrosion

La tribocorrosion est un phénomène de détérioration mécanique et électrique de la qualité du contact due à l'usure générée par les frottements, les micro-déplacements et l'accumulation de particules oxydées dans les microcavités à la surface du contact.

Ces micro-déplacements sont dus aux vibrations, aux chocs, ou même sans intervention extérieure, à la dilatation du métal. Ces particules oxydées constituent un troisième corps.

Le mécanisme de la tribocorrosion comporte plusieurs étapes :

- Production de particules d'usure, par adhésion ou par cisaillement,
- Oxydation et accumulation de ces particules dans les cavités de surface,
- Expulsion des particules oxydées dans les cavités adjacentes,
- Formation d'une couche de débris finement divisés qui se transforment en une poudre diminuant l'efficacité de l'auto nettoyage et augmentant la résistance de contact.

Certaines conceptions de contacts sont très sujettes à la tribocorrosion alors que d'autres n'y sont pas sensibles.

Une comparaison des techniques de contacts est faite dans le document :

Dossier Technique – Partie 3 Les avantages du contact en bout Le principe du DECONTACTEUR™

La résistance globale de contact dépend donc :

- de la forme géométrique du contact (qui détermine la surface apparente de contact et sa sensibilité à la tribocorrosion),
- de la force appliquée,
- de la résistivité des matériaux et des surfaces de contact,
- des caractéristiques de dureté et de rugosité des matériaux.

Influence du matériau

Le choix du matériau de contact est fondamental. Le tableau ci-dessous donne, pour une force appliquée donnée, les résistances de contact obtenues avec les matériaux que l'on rencontre le plus communément, dans deux états différents :

- A l'état neuf,
- Après vieillissement ou oxydation.

Matériau	Résistance de contact	
	Neuf	Oxydé
Argent pur	6 $\mu\Omega$	25 $\mu\Omega$
Or	31 $\mu\Omega$	31 $\mu\Omega$
Cuivre	29 $\mu\Omega$	400 $\mu\Omega$
Laiton	370 $\mu\Omega$	1 400 $\mu\Omega$
Argent-nickel _{85/15}	23 $\mu\Omega$	60 $\mu\Omega$

Argent

De tous les matériaux courants, l'argent a la plus faible résistance de contact. Ses performances varient peu dans le temps car l'oxyde d'argent (Ag_2O) est un bon conducteur. L'argent garde ses excellentes propriétés électriques à température élevée ou après ternissement. Le sulfure d'argent (Ag_2S de couleur noire) apparaît à basse température et en ambiance sulfureuse. Il est un peu plus résistif mais également instable. Il disparaît au-delà de 300 °C/570 °F et s'élimine sous l'effet d'un arc électrique.

La très faible résistance de contact de l'argent le rend particulièrement attractif pour les courants forts. D'un autre côté, l'argent est un métal mou qui s'use facilement. Il ne peut supporter des arcs électriques qui le vaporisent et il se soude à une pression et à une température relativement basses. L'argent n'est donc pas adapté aux organes de coupure.

Or

L'or a une très faible résistance de contact qui ne varie pas dans le temps car, dans des conditions normales, il ne s'oxyde pas. Outre le fait qu'il n'est pas économiquement viable à l'état massif, c'est un métal mou qui présente les mêmes désavantages que l'argent d'un point de vue mécanique.

Laiton

Le laiton (alliage de zinc et de cuivre) est un matériau bon marché, adapté à l'usinage des pièces de la forme requise par l'application. Le laiton est pourtant le plus mauvais matériau de tous ceux énumérés. Il possède une résistance de contact élevée à l'état neuf à cause du zinc qui est un mauvais conducteur. Quand le cuivre qu'il contient s'oxyde, il devient inutilisable. Sous l'effet d'un arc, le laiton se creuse (ce qui ne favorise pas l'extinction de l'arc) et s'oxyde en profondeur.

Cuivre

Le cuivre est plus cher que le laiton et il est aussi plus difficile à usiner. Comme le laiton, le cuivre s'oxyde à température ambiante ce qui accroît de façon conséquente sa résistance

de contact. Son exposition à des polluants chimiques usuels (oxyde de soufre, oxyde d'azote, acides, même à basse concentration) ou aux halogènes, crée en surface une couche fortement résistive d'oxyde de cuivre (Cu_2O). Dès 100-120 °C, du monoxyde de cuivre (CuO) se forme, rendant les contacts inutilisables.

Température °C	Épaisseur (10^{-10} m)	
	Après 1 000 h	Après 100 000 h
20	21,7	37
55	35	170
60	39	210
85	87	690
100	150	1 300

Couche d'oxyde de cuivre (Cu_2O) située en surface formée en fonction du temps et de la température. (Table de Rönnquist)

Note : L'oxydation du cuivre peut être éliminée dans le vide ou dans un confinement d'hélium ou d'hexafluorure de soufre (SF_6). Les performances du cuivre sont alors comparables à celles d'un alliage d'argent dans l'air. Ce confinement est évidemment impossible pour des prises de courant. Dans l'air, en absence de protection, le cuivre et le laiton ne sont jamais utilisés en tant que matériau de contact pour les organes de coupure à cause de leur couche de surface résistive. Même pour les petits disjoncteurs très bon marché, le cuivre n'est jamais utilisé seul en tant que matériau de contact. Le matériau antagoniste mis en contact avec un contact en cuivre est généralement fait de graphite d'argent (AgC) pour éviter la soudure.

Sous l'effet d'un arc, le cuivre se creuse et s'oxyde en profondeur. Par nature, le cuivre ne favorise pas la rapide extinction de l'arc car à l'inverse d'autres matériaux, le point cathodique de l'arc tend à rester dans une position stable qui ne favorise pas l'élévation de sa tension. Cette stabilité de l'arc favorise l'effet de creusement.

Cuproberyllium

Le Cuproberyllium est utilisé pour la réalisation des inserts à lames de ressort placés à l'intérieur des alvéoles. Les avantages du Cuproberyllium sur le laiton sont un bien meilleur module d'élasticité et un meilleur coefficient de frottement, qui diminuent l'usure et allongent la durée de vie du placage éventuel des broches. Sa résistivité est néanmoins comparable à celle du laiton. Ces inserts ont le désavantage de réaliser deux contacts en série : un entre la broche et l'insert, et un entre l'insert et l'alvéole.

Argent-nickel 85/15

L'argent-nickel $AgNi_{85/15}$ (85% argent et 15% nickel) conjugue les performances de qualité de contact exceptionnelle de l'argent et les propriétés mécaniques du nickel. L'argent-nickel ne se soude qu'à des pressions et des températures élevées et supporte les arcs électriques. Sous des arcs répétés, l'argent nickel s'use graduellement et les contacts doivent pouvoir être remplacés.

L'argent nickel est couramment utilisé par tous les fabricants d'organes de coupure, en raison de ses performances :

- Endurance mécanique,
- Propriétés électriques d'interface :
 - Non transfert de particules métalliques d'un contact à un autre,
 - Résistance à la soudure statique et dynamique,
 - Résistance mécanique à l'arc électrique, à la fermeture et l'ouverture du circuit,
 - Résistance à la tribocorrosion,
 - Résistance diélectrique post-arc qui réduit le temps moyen des arcs électriques,
 - Mobilité des arcs sur les contacts.

Ses propriétés de non transfert évitent l'accumulation graduelle de particules métalliques dans les chambres à arcs, qui ne forment donc pas de couche conductrice qui pourrait nuire à la rigidité diélectrique. Cela est particulièrement intéressant dans des produits compacts où les distances dans l'air et les lignes de fuite sont réduites au minimum.

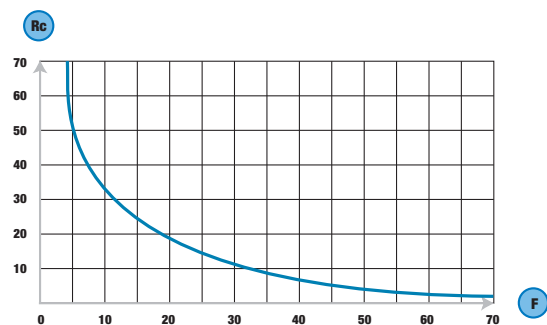
D'autres matériaux sont également couramment utilisés dans le domaine des organes de coupure pour d'autres propriétés particulières : L'argent Graphite (AgC), l'argent Oxyde d'étain ($AgSnO_2$) et l'argent Tungstène (AgW).

Contrôle de la pression de contact

La pression de contact est l'autre paramètre clé qui détermine la qualité d'un contact.

Dans le cas particulier des prises de courant, une force minimale doit être appliquée quand n'importe quelle fiche est introduite dans n'importe quel socle. Cette force doit rester constante dans le temps.

Une force minimale doit également être appliquée aux conducteurs cuivre dans leurs bornes de raccordement respectives, côté socle et côté fiche.



Variation type de la résistance de contact en fonction de la force appliquée

Les avantages d'une technique particulière de contact sont présentés dans le document :

Dossier Technique – Partie 3

Les avantages du contact en bout

Le principe du DECONTACTEUR™