

# Anelli di contatto e spazzole per turboalternatori



## Morgan Advanced Materials

Morgan Advanced Materials è un'azienda leader a livello mondiale nel campo dell'ingegneria dei materiali, in particolare nella progettazione e nella produzione di una vasta gamma di prodotti di alta specificità e dalle proprietà straordinarie, che trovano applicazione in molteplici settori e aree geografiche.

Partendo da una vasta serie di materiali avanzati, produciamo componenti, elementi e sistemi che offrono prestazioni nettamente superiori studiate per i prodotti e i processi dei nostri clienti. Le nostre soluzioni tecniche hanno tolleranze molto elevate e molte sono progettate per l'uso in situazioni ambientali estreme.

L'Azienda vive di profonde innovazioni. I nostri esperti in materiali e gli ingegneri applicativi lavorano in stretta collaborazione con i clienti per creare prodotti eccezionali e altamente differenziati, che offrono prestazioni più efficienti, affidabili e durature.

Morgan Advanced Materials è una realtà mondiale con oltre 10.000 dipendenti in 50 paesi che operano in mercati specializzati nei settori dell'energia, dei trasporti, della sanità, dell'elettronica, della sicurezza e della difesa, petrolchimico e industriale. L'azienda è quotata alla Borsa di Londra nel settore dell'ingegneria.

### Indice

Anelli di contatto e spazzole in grafite per turboalternatori	3
Introduzione	4
Pellicola di contatto	5
– Ossido	6
– Grafite	6
– Umidità	7
Effetto della polarità sulla patina	8
Materiale dell'anello di contatto	12
Scanalature elicoidali sugli anelli	12
Contatto elettrico	14
Impronte delle spazzole sugli anelli	15
Usura della spazzola	16
Controllo e manutenzione	17

## Anelli e spazzole in grafite per turbo alternatori

Questo opuscolo tratta gli aspetti tecnici delle spazzole di carbone e degli anelli di contatto per turboalternatori, una delle applicazioni più difficili delle spazzole in carbone nelle macchine elettriche.

Morgan Advanced Materials è il più grande produttore mondiale di prodotti in carbone per applicazioni elettriche. Nella Divisione Carbone, National e Morganite sono leader mondiali nella produzione di spazzole in grafite per anelli di contatto su turboalternatori.

L'esperienza e le competenze del nostro team di ingegneri sono state preziose per la preparazione di questo opuscolo.

Siamo ormai riconosciuti come il primo fornitore di spazzole di carbone nel mercato energetico e offriamo spazzole in grafite di qualità per generatori ad alte prestazioni per supportare le vostre applicazioni. La qualità ottimale per le applicazioni su turboalternatori è la spazzola National 634, che noi produciamo e distribuiamo, e che costituisce lo standard di riferimento per questa applicazione.

I nostri prodotti e servizi:

- Spazzole in carbone
- Portaspazzole
- Anelli di contatto
- Commutatori
- Diagnostica per motori e generatori
- Prestazioni affidabili e costanti
- Bassa usura sia della spazzola che dell'anello di contatto
- Differenze minime di usura dovute alla polarità
- Attrito basso e stabile
- Supporto nel prevenire le impronte sulla superficie dell'anello
- Lunga durata comprovata
- Eccellenti capacità di condivisione della corrente
- Caduta di tensione costante
- Adattabilità a qualsiasi generatore
- Studi costanti dei materiali a livello globale

**La qualità 634 è riconosciuta a livello internazionale come il materiale con le migliori prestazioni nel settore energetico**

## Introduzione

**Un turboalternatore è una macchina sincrona azionata da una turbina che viene impiegata per generare energia elettrica sia in campo industriale che dalle compagnie elettriche.**

La turbina funziona a una velocità costante di 3000 o 3600 giri/minuto, a seconda della frequenza di uscita desiderata dell'alternatore (50 o 60 Hz).

L'eccitazione del rotore, mediante una corrente continua, viene solitamente fornita attraverso due (serie di) anelli di contatto sull'albero dell'alternatore.

La corrente di eccitazione può raggiungere anche i 5000 Amps a seconda delle dimensioni del turboalternatore.

A 3000 o 3600 giri/minuto, la velocità della superficie dell'anello di contatto normalmente è piuttosto elevata e una velocità di 80 m/sec (16.000 ft/min) non è inconsueta.

Le spazzole di grafite utilizzate su questi anelli forniscono un contatto elettrico stabile, permettendo allo stesso tempo il passaggio di una corrente elevata ad una velocità periferica altrettanto elevata, superiore ai 250 km/h. È fondamentale che ciò avvenga senza danneggiare gli anelli e mantenendo una durata ragionevole della spazzola.

La qualità National denominata 634, normalmente utilizzata per queste applicazioni, è un materiale composto di grafite naturale e costituisce lo standard internazionale per le spazzole in carbone sui turboalternatori.



# Pellicola di contatto

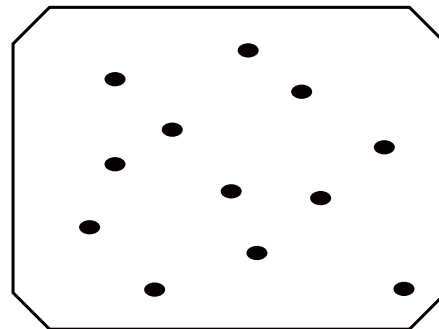
Durante il funzionamento, sull'anello di contatto si forma automaticamente una pellicola o patina protettiva che svolge un ruolo fondamentale nella conduzione di corrente e nella riduzione dell'attrito, determinando quindi una riduzione dell'usura della spazzola al livello più basso possibile. La patina è essenziale per il funzionamento ottimale delle spazzole.

Questa patina di spessore molto sottile, circa 20 Å (2 x 10<sup>-7</sup>cm), è composta da:

- ossido del materiale dell'anello
- umidità (acqua)
- grafite

## Flusso di corrente

Il flusso di corrente dalla spazzola all'anello passa attraverso un numero limitato di punti di contatto che portano il carico totale di corrente. I punti di contatto sono bilanciati grazie all'equilibrio tra la tendenza della spazzola e della superficie del collettore ad ossidarsi e l'abrasione della spazzola contro la superficie dell'anello di contatto.



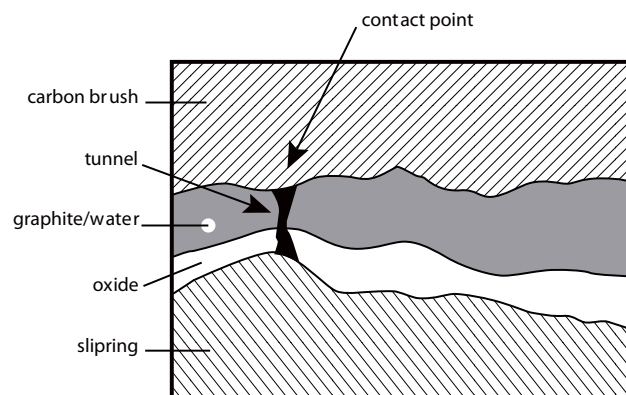
Focolai conduttivi

Esiste uno strato sottile di ossido e umidità tra le superfici di scorrimento attraverso il quale la corrente passa per mezzo di un effetto "tunnel" che si manifesta in adesione metallica e perdita di conduttività della pellicola.

Forze di taglio o ossidazione possono determinare la cessazione della conduttività di questi punti di contatto, ma si formano costantemente nuovi punti, che poi subiscono l'erosione attraverso la spazzola.

Possiamo quindi affermare che il flusso di corrente tra la spazzola e l'anello passa attraverso un numero limitato di punti di contatto in continuo alternarsi.

Di seguito saranno discussi più nel dettaglio gli elementi di base che costituiscono la patina: ossido, acqua e grafite.



## Pellicola di contatto (seconda parte)

### Ossido

La pellicola di ossido sull'acciaio è più porosa, più abrasiva e si forma più rapidamente che sul rame.

La velocità di formazione dell'ossido dipende dalla temperatura, dalla corrente e da specifici agenti atmosferici contaminanti.

### Temperatura

A temperature più elevate, il materiale degli anelli tende ad ossidarsi più velocemente che a basse temperature.

La temperatura di esercizio ottimale è 60 - 90 °C. Inoltre è molto importante che la temperatura sia uniforme su tutta la superficie dell'anello.

Temperature diverse non solo determinano spessori diversi degli strati di ossido, ma influenzano anche la distribuzione della corrente fra le spazzole.

Pertanto l'aria di raffreddamento del compartimento dell'anello dovrà fluire in maniera tale da raffreddare uniformemente tutta la superficie dell'anello.

Talvolta nel percorso del flusso d'aria sono presenti degli ostacoli che causano turbolenza, per cui questa parte dell'anello si raffredda meno di altre. La conseguenza può essere usura dell'anello, azione selettiva o, peggio ancora, cordine bruciate.

L'aumento di temperatura dell'anello deriva per circa il 90% dall'attrito e solo per il 10% da perdite di corrente.

### Corrente

Il gas di metallo ionizzato, che conduce la corrente in un focolaio conduttivo, si trasforma in ossido. Questo spiega come in genere la formazione di ossido migliori quando la densità di corrente è elevata.

Sulle spazzole negative (catodo), questo effetto è ancora più forte a causa dell'elettrolisi, mentre sulle spazzole positive la corrente causa una maggiore rugosità della superficie dell'anello.

Questi fenomeni saranno oggetto di ulteriore approfondimento nel paragrafo 3, dedicato agli effetti sulla polarità della patina.

### Agenti contaminanti

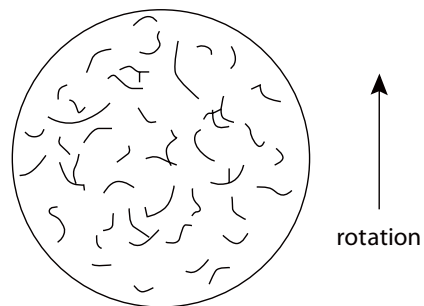
La presenza di oli, sporco, polvere, fumo, siliceni, allo stato libero o gassoso, può ridurre o incrementare la formazione dello strato di ossido. Maggiori dettagli saranno forniti nel paragrafo 9, controllo e manutenzione.

### Grafite

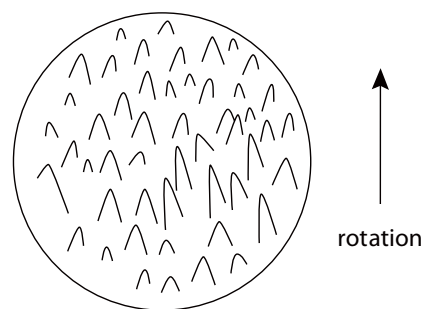
Diversi studi hanno dimostrato che lo strato di grafite svolge un ruolo fondamentale nel ridurre l'attrito e l'usura della spazzola, garantendo inoltre un contatto migliore.

Le particelle di grafite riempiono le rugosità sulla superficie dell'anello in strato casuale. Accanto al metallo presentano una struttura a orientamento casuale, a forma di piccoli coni con orientazione di 10-20 gradi nella direzione di scorrimento in prossimità della superficie di scorrimento stessa.

Gli strati sono tenuti insieme da forze di adesione maggiori della forza di attrito tra spazzola e anello, a condizione che vi sia abbastanza umidità sulla superficie di scorrimento.



Graphite near slipping



Graphite near sliding surface

## Umidità

Un altro componente altrettanto importante nella patina è l'acqua, che riduce l'attrito. L'acqua normalmente è fornita dall'umidità nell'aria circostante e riduce l'attrito a un livello minimo accettabile.

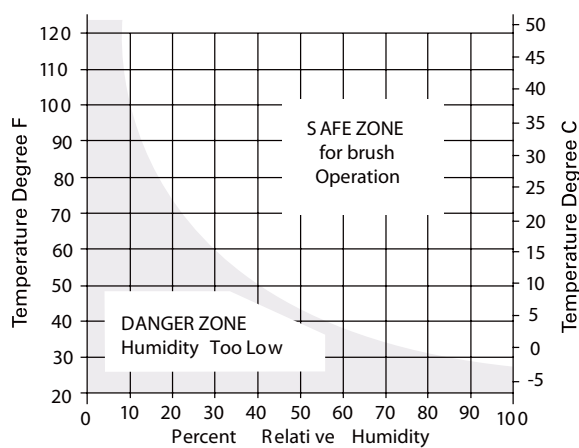
A temperature molto basse, l'umidità assoluta dell'aria sarà troppo bassa e provocherà un incremento del tasso di usura della spazzola e un aumento della temperatura dell'anello.

Se l'umidità assoluta scende al di sotto di 4.5 g/m<sup>3</sup> (grammi/metro cubo), l'attrito aumenterà, causando seri problemi alle spazzole.

Se invece l'umidità assoluta supera i 25 g/m<sup>3</sup>, può formarsi una patina in eccesso.

L'umidità assoluta può essere individuata attraverso questo grafico.

### HUMIDITY and Brush Life



A linea curva rappresenta 2 grani di acqua per piede cubo di aria secca o 4,6 grammi per metro cubo

Nei casi in cui la bassa umidità causa dei problemi, si possono utilizzare degli umidificatori nel sistema di condizionamento dell'aria.

## Effetto della polarità sulla patina

Su anelli in acciaio a basso tenore di carbonio positivi, la patina solitamente si presenta più leggera, la temperatura dell'anello più alta e l'usura della spazzola più marcata rispetto all'anello negativo.

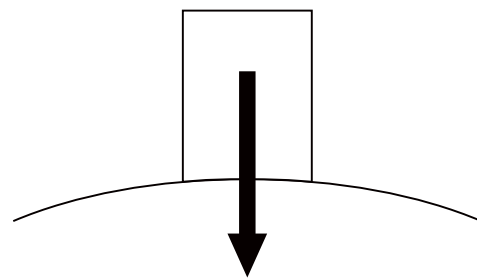
Un rapporto di 5:1 nella differenza di usura fra spazzole positive e negative è piuttosto frequente.

La maggior parte delle pubblicazioni sulle applicazioni delle spazzole utilizzano definizioni differenti per indicare la polarità o la direzione del flusso di corrente da o verso la spazzola.

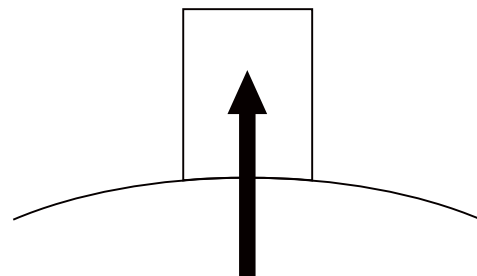
Per descrivere l'effetto della polarità adotteremo le seguenti definizioni:

**Spazzola positiva:** la corrente va dalla spazzola al collettore.

**Spazzola negativa:** la corrente va dal collettore alla spazzola.



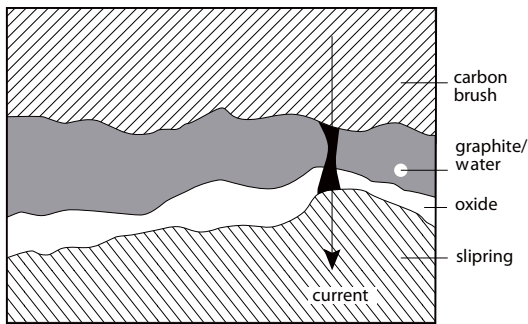
CURRENT  
positive brush



CURRENT  
negative brush



Come già illustrato nel paragrafo 2, la corrente fluisce attraverso un numero ridotto di punti di contatto che cambiano continuamente e questo avviene dove la patina è più sottile.



Nei motori a corrente continua, l'ossido svolge un ruolo fondamentale in quanto tiene sotto controllo la caduta di tensione nella patina e quindi le proprietà di commutazione.

Se lo strato di ossido è sottile, la caduta di tensione sarà minima e si avranno effetti negativi sulle proprietà di commutazione.

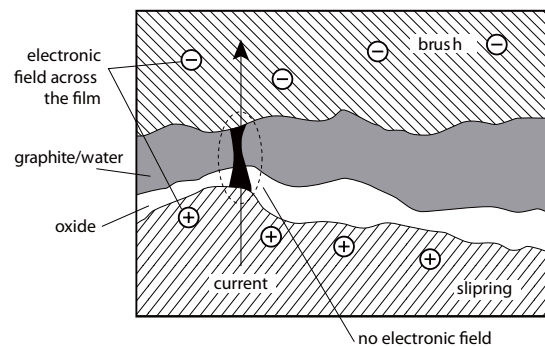
Uno strato di ossido troppo spesso renderà difficile la formazione dei punti conduttori e di conseguenza si avrà una portata di corrente violenta, strappi della patina e attrito elevato.

In un anello di contatto lo strato di ossido dovrebbe essere sottile, mentre la parte in grafite della patina dovrebbe essere predominante (non sono necessarie proprietà di commutazione), questo perché la grafite riduce l'attrito ed è un conduttore migliore dell'ossido.

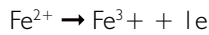
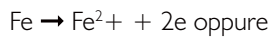
## Direzione della corrente e formazione dell'ossido

Quando la corrente fluisce fra la spazzola e l'anello, sulla patina si forma un campo elettrico.

Questo campo elettrico non si crea sui punti di contatto (tunnel) nei quali fluisce la corrente.



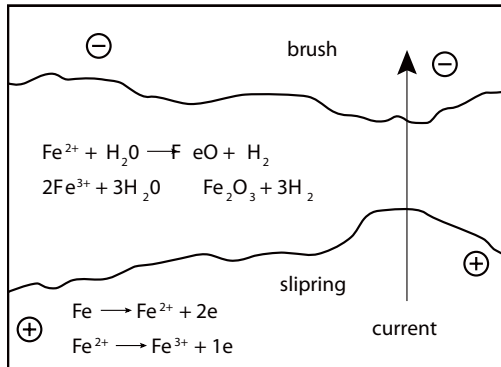
In caso di anelli ad una sola polarità, come nei tuboalternatori, il metallo formerà continuamente ioni ed elettroni sotto la spazzola negativa, quindi per l'acciaio:



Il campo elettrico sotto la spazzola negativa provocherà il movimento di ioni positivi  $\text{Fe}^{2+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$  dalla superficie del collettore verso la patina, dove si legheranno con l'ossigeno presente nell'umidità della patina formando  $\text{FeO}$  o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

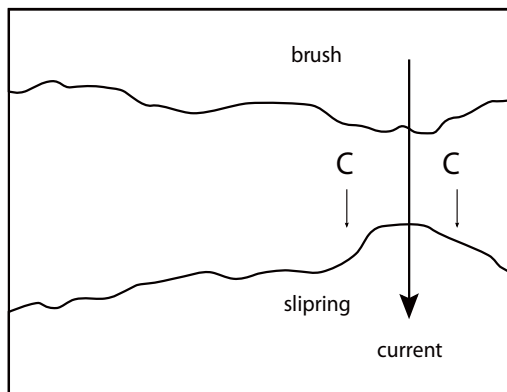
## Effetto della polarità sulla patina (parte II)

Gli elettroni vengono spinti nella direzione opposta.



Negative brush

Per la spazzola positiva il campo elettrico si trova in direzione opposta. Sotto la spazzola, nessuno ione viene attratto verso la patina, quindi non ci sarà ulteriore ossidazione sotto questa spazzola.



Positive brush

Su anelli in acciaio a basso tenore di carbonio, l'usura della spazzola sugli anelli positivi è dovuta ad altri effetti.

Le spazzole positive che scorrono su questi anelli depositano carbonio, che alla temperatura dei punti di contatto abbassa la temperatura di fusione dell'acciaio. Il risultato saranno micro chiazze di acciaio fuso di brevissima durata, ma in continua modificazione sotto la spazzola, con una superficie più rugosa del normale, una caduta di tensione inferiore e un maggiore attrito.

Un acciaio a basso tenore di carbonio contiene normalmente una percentuale di carbonio che varia tra 0,15 e 0,20%. Il punto di fusione di questo acciaio si abbassa di circa 400°C rispetto al normale quando il contenuto di carbonio additivo arriva fino al 4,3%. Ciò significa che quando il contenuto di carbonio aumenta da un iniziale 0,20% a un 4,3%, il punto di fusione si abbassa gradualmente di 400°C.

Questo fenomeno, definito "Case Hardening" negli acciai a basso tenore di carbonio, si basa sull'aumento del contenuto di carbonio sulla superficie, ottenuto riscaldando l'acciaio a una temperatura al di sotto del punto di fusione in presenza di carbonio (nel nostro caso ioni provenienti dalla spazzola), che penetra gradualmente, si diffonde o viene assorbito nell'acciaio, aumentando così il contenuto di carbonio in superficie. L'indurimento è dovuto a una reazione chimica fra gli elementi di ferro e manganese con il carbonio, che forma gruppi di carburi, materiali molto duri (usati negli utensili da taglio). Quindi la spazzola in carbone agisce a livello sia chimico che fisico (rugosità sulla superficie).

Inoltre una superficie lucida, e non una superficie in grafite nera dell'anello, si può osservare solitamente sotto una spazzola positiva, dimostrazione di un cambiamento definitivo nella composizione dell'anello sulla superficie.

Gli effetti sopra descritti si verificano solo negli anelli in acciaio a basso tenore di carbonio.

Tutti gli altri materiali non mostrano questo effetto.

In questi casi, come già illustrato in precedenza, l'usura della spazzola e dell'anello saranno maggiori sul lato negativo a causa della formazione di ossido sopra descritta.

## Conclusione solo per gli anelli in acciaio a basso tenore di carbonio

### La spazzola negativa (catodo)

Sotto la spazzola negativa si formerà ulteriore ossido di metallo.

La patina sull'anello negativo contiene quindi più ossido e meno grafite, per cui si ha una maggiore caduta di tensione.

La patina di ossido, che è abrasiva, provoca attrito e quindi usura della spazzola.

### La spazzola positiva (anodo)

Le macchie rugose sono dovute al carbonio che si deposita sulla superficie in acciaio, abbassando il punto di fusione e causando piccole pozze di fusione, oltre al fenomeno di "case hardening".

A causa di questa superficie rugosa più dura e del metallo depositatosi sulla superficie della spazzola, l'attrito è maggiore.

Perciò l'usura della spazzola è maggiore sull'anello positivo che su quello negativo.

### Riassunto:

#### Anelli in acciaio a basso tenore carbonio:

##### Anello positivo:

- maggiore usura della spazzola
- minore caduta di tensione
- maggiore attrito

#### Anelli in ottone o leghe similari:

##### Anello negativo:

- maggiore usura della spazzola
- maggiore caduta di tensione
- maggiore attrito

Come già accennato per gli anelli in acciaio, una rapporto nel tasso di usura 5:1 non costituisce un'eccezione.

È possibile ridurre notevolmente la differenza cambiando spesso la polarità.

Una volta formata, la patina in grafite sull'anello resta intatta per lungo tempo quando si cambia polarità.

Una procedura nota, applicabile sia su anelli nuovi che su anelli rettificati di recente, è cambiare la polarità ad intervalli temporali sempre maggiori, come:

Intervallo

2 settimane

4 settimane

8 settimane

16 settimane

32 settimane

Dopo 32 settimane, la polarità dovrebbe essere cambiata ad intervalli di un anno.

## Materiale degli anelli

Alcuni dei materiali solitamente utilizzati per gli anelli sono:

### Bronzo

88% Cu, 10% Sn, 2% Zn

### Fosforo Bronzo

90% Cu, 10% Sn, 0.4% P

### Cupronichel

96% Cu, 4% Ni

Utilizzato in atmosfere corrosive

### Ghisa, acciaio

Velocità superficiali più basse utilizzate nei generatori a energia idroelettrica

### Leghe di acciaio

Applicazioni a velocità elevata

Materiali come ottone (Cu+Zn) e alluminio non sono appropriati per gli anelli.

Leghe di acciaio utilizzate per i turboalternatori solitamente contengono:

0.15 - 0.2%	C
0.1 - 0.4%	Si
0.5 - 0.8%	Mn
1.2 - 1.6%	Cr
1.2 - 1.6%	Ni
0.1 - 0.3%	Mo
Tracce di	P
Tracce di	S

È ormai dimostrato che questa composizione conferisce una buona resistenza all'usura e alle forze centrifughe dovute all'alta velocità

## Scanalature elicoidali sugli anelli

Le scanalature elicoidali nascono dall'esigenza di distribuire meglio la corrente fra le spazzole. Quando molte spazzole lavorano in parallelo ad alta velocità, sotto la spazzola si forma un cuscinio d'aria che influisce sulla distribuzione di corrente.

Già intorno al 1924 si stabilì che in caso di distribuzione di corrente non omogenea, o "azione selettiva", si poteva ottenere un miglioramento effettuando dei tagli assiali sulle lamelle attraverso la superficie di contatto di ogni spazzola. La buona riuscita di questo accorgimento è attribuita alla rimozione dello strato di gas fra la spazzola e l'anello, che può causare condizioni instabili nel contatto e variabilità nella caduta di tensione. Rimosso questo strato di gas, la caduta di tensione è molto più uniforme, si ottiene inoltre un notevole miglioramento nella distribuzione della corrente fra le spazzole che operano sull'anello.

Alcuni anni dopo, fu regolarmente concesso il brevetto britannico per anelli e commutatori con scanalature "elicoidali" e a spirale. Si trattava di un approccio nuovo, in grado di migliorare la distribuzione della corrente rendendo parte della superficie della spazzola che trasporta

la corrente inoperativa per un certo lasso di tempo ad ogni giro dell'anello. Quindi in caso di "azione selettiva", quando una particolare spazzola raccoglie più corrente rispetto a quanto in teoria dovrebbe, tale spazzola è obbligata a rilasciare questa corrente a beneficio di un'altra spazzola e di conseguenza l'equilibrio viene ripristinato. Con una spazzola a tagli assiali, sussiste sempre il rischio che persista la condizione di azione selettiva, in quanto non si verifica una dispersione forzata di corrente.

Inoltre il vantaggio delle scanalature elicoidali è impedire uno strato di gas sotto la superficie di contatto delle spazzole, fornendo quindi lo stesso beneficio dei tagli assiali sulla superficie di contatto di ogni spazzola.

Non esiste un consenso generale in merito alle dimensioni e al passo ottimali delle scanalature. Le scanalature attualmente in uso presentano larghezze che variano tra 2 e 4,3 mm, e profondità circa uguali alle larghezze. Il passo varia da circa 9,5 mm per una singola scanalatura, ad uno equivalente alla larghezza dell'anello nelle scanalature quadruple, cioè 4 canalature equamente distanziate in cui ciascuna compie un giro completo dell'anello.

È comunque auspicabile che l'area della spazzola a contatto con l'anello non abbia fluttuazioni elevate durante il passaggio trasversale delle scanalature. Ciò implica che il passo delle stesse scanalature dovrebbe essere correlato alla dimensione "a" (assiale) della spazzola anziché alla larghezza dell'anello cioè la dimensione "a" della spazzola dovrebbe essere un multiplo esatto del passo della scanalatura.

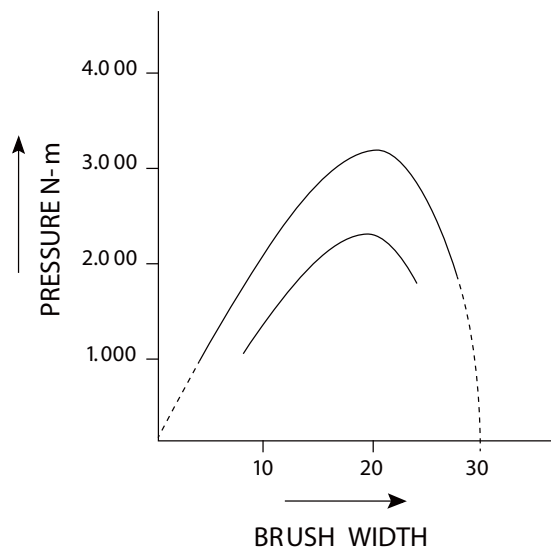
Le scanalature elicoidali presentano un'evidente riduzione dell'area di contatto fra la spazzola e l'anello, perciò anche la forza di contatto dovrebbe ragionevolmente essere calcolata sulla superficie di contatto reale tra la spazzola e l'anello, cioè la superficie trasversale della spazzola meno la superficie delle eliche sotto la spazzola.

Tuttavia bisogna considerare anche il secondo effetto delle scanalature: l'assenza dello strato di gas fra la spazzola e l'anello. Come conseguenza di tale assenza, la spazzola appoggia meglio sulla superficie dell'anello e si avranno anche minori cadute di tensione, ma allo stesso tempo un maggiore coefficiente di attrito.

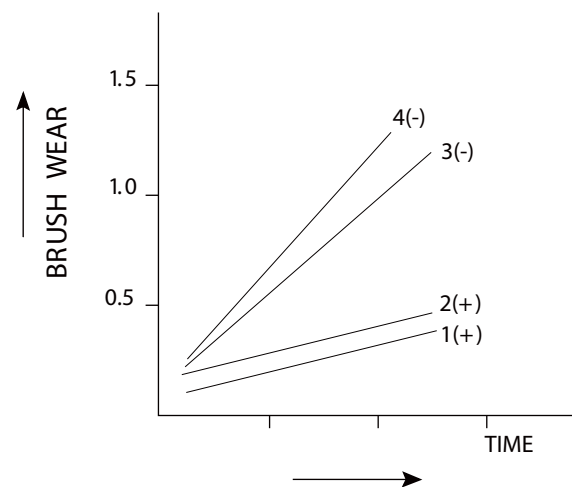
In genere le perdite minori per caduta di tensione compensano le perdite maggiori di natura meccanica, quindi per calcolare la forza di contatto occorre considerare la superficie piena della spazzola. Inoltre è preferibile applicare la forza di contatto piena ai fini di una maggiore stabilità meccanica alla spazzola.

Al contrario in caso di applicazioni non turbo di minore velocità, in cui il passo dell'anello a scanalature elicoidali può rimuovere di fatto fino al 40% della superficie della spazzola, per preservare la durata della spazzola o dell'anello può risultare utile ridurre la pressione della molla.

In tali applicazioni a basse velocità periferiche è possibile che non vi sia cuscinetto d'aria e che quindi le perdite rimangano invariate. La riduzione della superficie effettiva può portare talvolta a un aumento della pressione della spazzola a livelli superiori a quelli indicati nelle specifiche dei produttori.



La superficie scanalata della spazzola riduce la pressione della metà.



1 & 3 spazzola scanalata  
2 & 4 spazzola non scanalata

## Contatto elettrico

Quando, come spesso accade, più di 50 spazzole lavorano in parallelo, il contatto elettrico, e quindi la distribuzione uniforme della corrente, è estremamente importante.

Alcuni degli elementi che influiscono sul contatto elettrico sono:

### Anelli

Se l'anello non è più circolare (eccentricità superiore a 0,05 mm) o presenta una qualsiasi anomalia come ombre di commutazione sulla superficie, il contatto elettrico tra spazzola e anello è compromesso, causando scintillio ed elettroerosione.

Proprio a causa di questa erosione, la superficie dell'anello sarà danneggiata ulteriormente e si avrà un incremento dello scintillio.

### Portaspazzole

Il cassetto delle spazzole deve essere squadrato e liscio, per consentire alla spazzola di muoversi liberamente in direzione radiale.

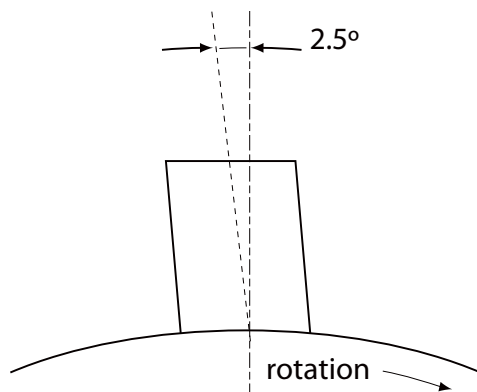
In seguito a un accumulo di polvere o a una qualunque anomalia del cassetto, potrebbe verificarsi resistenza nella discesa della spazzola e ciò ridurrebbe la pressione di contatto con l'anello e aumenterebbe l'usura della spazzola stessa (usura elettrica o scintillio).

Il portaspazzole e la molla devono essere meccanicamente molto stabili.

La distanza fra cassetto (portaspazzole) e anello dovrebbe essere fra 2 e 3 mm.

È stato riscontrato che le spazzole hanno prestazioni migliori quando sono posizionate a inclinazione leggermente portante. Un angolo di circa 2,5° è sufficiente.

Da evitare è invece la posizione perfettamente in asse (radiale), che aumenterebbe la tendenza a vibrare.

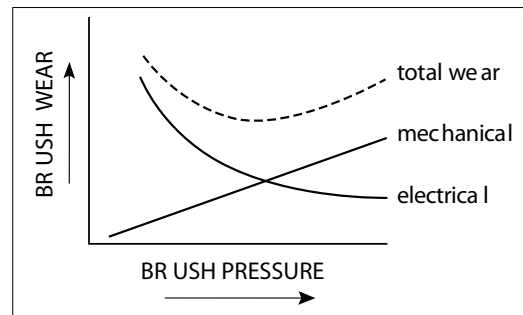


### Pressione della spazzola

La pressione svolge un ruolo importante nelle prestazioni delle spazzole dei turboalternatori.

Per garantire una distribuzione di corrente fra le spazzole il più omogenea possibile, tutte le spazzole dovrebbero avere una pressione identica.

Una pressione troppo bassa aumenterà l'usura elettrica (scintillio), mentre una pressione troppo elevata aumenterebbe l'attrito e quindi l'usura meccanica.



È stato constatato che generalmente la pressione ottimale nei turboalternatori per la qualità 634 è di 160-180 g/cm<sup>2</sup>.

La pressione della spazzola dovrebbe essere controllata regolarmente e la differenza massima fra una spazzola e l'altra dovrebbe essere sempre inferiore al 10%.

### Attacco delle cordine

La connessione delle cordine alla spazzola deve presentare una resistività bassa e dovrebbe essere uguale per i conduttori paralleli.

Quella fra spazzola e cavo è comunque una connessione elettrica critica.

Due delle tipologie di connessione più comuni sono la connessione rivettata e la connessione punzonata.

Gli studi hanno dimostrato che una moderna connessione punzonata è termicamente più stabile di quella a rivetti.

# Impronte (Ghosting)

Un effetto frequente sugli anelli dei turboalternatori sono le cosiddette ombre o impronte di commutazione, chiamate anche “ghosting”.

L'ombra di commutazione può essere descritta come un'impronta della spazzola sull'anello. Questa impronta ha le stesse dimensioni della spazzola, ma una superficie un po' più rugosa e si presenta come un'incisione del materiale (l'immagine mostra l'effetto “ghosting” sulla superficie posteriore degli anelli).

Le cause che provocano le impronte sono due:

1. Durante il funzionamento del turboalternatore si verifica un picco momentaneo estremamente elevato nella corrente di eccitazione (alto  $di/dt$ ).

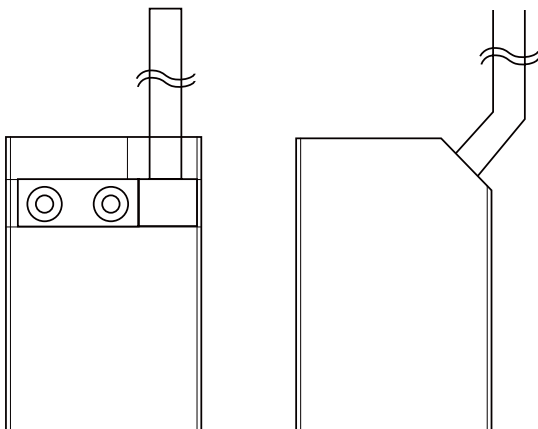
Il numero di punti di contatto sulla superficie della spazzola non è sufficiente a portare tutto questo carico di corrente. L'effetto è una violenta portata di corrente, con conseguente pesante ionizzazione ad arco. Il risultato è la bruciatura dei punti di contatto, che presentano esattamente la stessa larghezza e lo stesso spessore della spazzola.

Un tale sovraccarico istantaneo può manifestarsi quando:

- si è verificato un cortocircuito nel sistema CA.
- nell'impianto è stato avviato un grande motore asincrono con elevate correnti di spunto.
- gli alternatori sono stati fermati, pur non essendo ancora ben sincronizzati.

2. Un altro tipo di ombra di commutazione può verificarsi quando il turboalternatore è rimasto fermo per diverse settimane.

L'elettrolisi, effetto della polarità come discusso nel paragrafo 3, provocherà l'ossidazione dell'anello sotto la spazzola nelle esatte dimensioni della spazzola stessa.



Cordina rivettata

Cordina punzonata



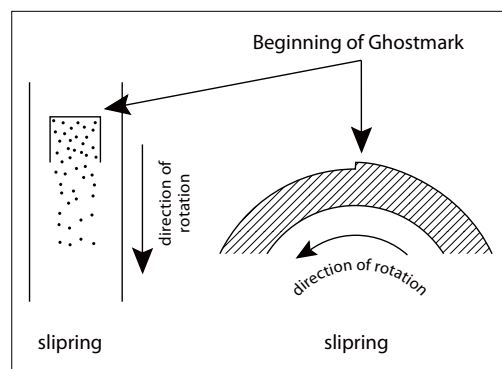
Quando una macchina viene tenuta ferma per un lungo periodo, si raccomanda quindi di rimuovere le spazzole dai portaspazzole o di sollevarle dalla superficie dell'anello.

Nella maggior parte dei casi i turboalternatori, se non in funzione, vengono fatti ruotare a velocità molto bassa e non è necessario rimuovere le spazzole.

Quando le ombre di commutazione sono comparse sull'anello, tendono a svilupparsi in macchie più larghe e rugose a causa dell'erosione per scintillio.

Ad ogni passaggio della spazzola sotto la macchia, si verificherà scintillio.

Questo fenomeno non migliorerà automaticamente, ma sarà necessario rettificare di nuovo l'anello per ripristinare le prestazioni.



## Usura della spazzola

L'usura della spazzola di qualità 634 nei turboalternatori dipende da vari fattori come:

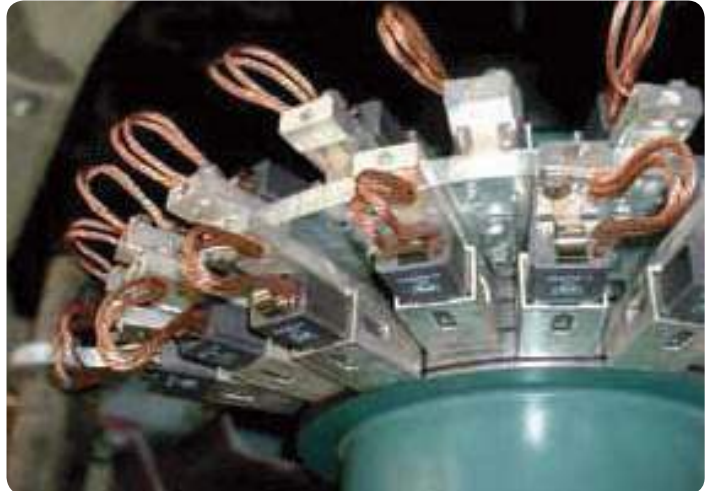
- carico di corrente
- velocità di strisciamento
- pressione della spazzola
- temperatura
- agenti contaminanti
- stato dell'anello

Come regola generale possiamo affermare che:

<5 mm/1000 ore	l'usura è molto buona
5-10 mm/1000 ore	è buona
11-20 mm/1000 ore	è accettabile
>20 mm/1000 ore	occorre prestare attenzione

Le condizioni ideali di lavoro per la qualità 634 sono:

Densità di corrente:	5.5 - 8 A/cm <sup>2</sup>
Velocità periferica:	45 - 80 m/sec
Umidità assoluta:	8 - 13 g/m <sup>3</sup>
Temperatura dell'anello:	60 - 90°C
Pressione della spazzola:	160 - 200 g/cm <sup>2</sup>





# Controllo e manutenzione

Spazzole, portaspazzole e anelli devono essere controllati regolarmente. Un problema rilevato a uno stadio iniziale può essere risolto facilmente. Al contrario, a uno stadio più avanzato, può causare seri danni e richiedere costose riparazioni.

## Lista dei controlli

### Spazzole

#### Lunghezza della spazzola

Assicurarsi che le spazzole non siano troppo corte.

#### Cavi

Controllare che i cavi non siano scoloriti non presentino rotture nei filamenti dovute a vibrazioni o altri tipi di usura.

Se alcune spazzole hanno cavi scoloriti, potrebbe essere sintomo di azione selettiva. Ciò significa che la densità di corrente nei cavi scoloriti è troppo elevata. Si raccomanda quindi, nel caso si sia verificata una grave azione selettiva, di cambiare tutto il set di spazzole in quanto le connessioni delle spazzole potrebbero aver subito dei danni a causa della corrente elevata.

Talvolta le trecce si rompono a causa delle vibrazioni o del movimento continuo dovuto a un sistema di raffreddamento molto forte.

Se più del 10% delle cordine è danneggiato, la spazzola deve essere sostituita.

#### Segni di vibrazioni

Se la spazzola presenta un'eccessiva lucidità sulle superfici laterali, è segno di un movimento eccessivo nel cassetto del portaspazzole.

Il problema è dovuto ad anelli eccentrici o da un attrito elevato.

Controllare anche che sui lati della spazzole non ci siano tracce di erosione dovuta a correnti circolanti fra spazzola e portaspazzole. (Se si sospetta questo, significa che i collegamenti della spazzola potrebbero essere danneggiati e si raccomanda di sostituire le spazzole)

#### Superficie della spazzola

Controllare la superficie di contatto della spazzola per:

- Schegge: causate manualmente o da altri impatti di tipo meccanico.
- Superficie rugosa: probabilmente causata da erosione da scintillio, dovuta a una pressione troppo bassa o più in generale a un contatto elettrico scadente fra la spazzola e l'anello.

### Portaspazzole

I portaspazzole devono essere controllati periodicamente.

I punti più importanti sono:

#### Cassetto

È bene assicurarsi che il cassetto non sia danneggiato e che la spazzola possa muoversi liberamente al suo interno.

#### Collegamenti elettrici, come il terminale

Accertarsi che questo collegamento sia pulito e più stretto possibile al portaspazzole.

I collegamenti con terminali mobili necessitano di un'attenzione particolare. Le superfici di connessione devono essere perfettamente pulite e non danneggiate.

**NB:** i portaspazzole non dovrebbero mai essere puliti tramite sabbiatura a getto o metodi simili.

La sabbiatura infatti rende rugosa la superficie all'interno del cassetto e questo comprometterebbe la libertà di movimento della spazzola.

#### Molle

Occorre controllare periodicamente anche le molle e sostituire quelle che si discostano di oltre il 10% dal valore nominale.

#### Distanza fra cassetto del portaspazzole e anello

I portaspazzole dovrebbero essere posizionati a 2-3mm dalla superficie dell'anello. Distanze maggiori potrebbero provocare instabilità nelle spazzole ed eventuali altri danni.

#### Anelli

Controllare spesso che non vi siano problemi che possano compromettere il contatto elettrico.

Quando la macchina è in movimento, si dovrebbe utilizzare uno stroboscopio regolato su una frequenza non esattamente identica alla velocità della turbina.

Questo rende più facile l'ispezione visiva.

## Controllo e manutenzione (parte II)

### Compartimento anelli

Ispezionare tutto il compartimento anelli per individuare eventuali tracce di olio.

Se l'olio dai cuscinetti dell'albero penetra nella patina degli anelli, si forma uno strato molto lucido che causa un forte attrito e un'elevata usura delle spazzole, con eventuale blocco delle spazzole nei portaspazzole.

Le macchie grigie sulla superficie dell'anello sono riconducibili a questo problema.

Le spazzole di carbone sono porose e quindi tendono ad assorbire l'olio. Se si è verificata una perdita di olio e il sistema spazzola è stato esposto ad esso, si consiglia di sostituire tutte le spazzole e di pulire a fondo tutti i portaspazzole, le molle e i punti di connessione.

### Segni di scintillio

Uno scintillio forte potrebbe causare un flash agli anelli di polarità diversa.

Segni di uno scintillio pesante possono essere riscontrati sui portaspazzole, sulle spazzole o in altri punti del compartimento anelli. A questo punto si raccomanda di effettuare ulteriori controlli per individuare la causa e correggere il problema.

### Polvere

La polvere di grafite è un buon conduttore di elettricità.

Un accumulo eccessivo di polvere potrebbe mandare in flash gli anelli di diversa polarità.

Si raccomanda quindi di pulire regolarmente il comparto degli anelli con una spazzola a setole morbide per ammorbidire la polvere e mediante aria compressa.

### Temperatura della spazzola

È importante verificare regolarmente la temperatura della spazzola. Differenze troppo alte sono indice di una possibile azione selettiva che provoca una differenza di usura, o peggio, la bruciatura dei cavi o dei collegamenti.

I moderni termometri a infrarossi sono accurati e sicuri da permetterci di condurre queste verifiche.

### Umidità

Specialmente in aree con bassi livelli di umidità, come ad altitudini elevate o in zone con inverni rigidi, l'umidità deve essere controllata regolarmente. Se l'umidità è bassa (meno di 4,5 g/m<sup>3</sup>) e l'attrito elevato, l'energia di eccitazione e quindi l'energia di uscita dell'alternatore deve essere ridotta per compensare.

Una soluzione a medio e a lungo termine per migliorare la situazione è introdurre del vapore nel sistema di raffreddamento, in modo da aumentare l'umidità e quindi ridurre di nuovo l'attrito.

L'introduzione di vapore deve essere fermata quando l'umidità torna a livello normale. In luoghi in cui la bassa umidità causa problemi di attrito, vengono installati sistemi di umidificazione a controllo automatico nel sistema di raffreddamento.

### Rotondità dell'anello

Se si individuano segni di vibrazioni sulle spazzole e scintillio, è bene controllare la rotondità dell'anello.

Sia strumenti manuali come i comparatori, che i profilometri, sono in grado di fornire indicazioni accurate sulla concentricità dell'anello.

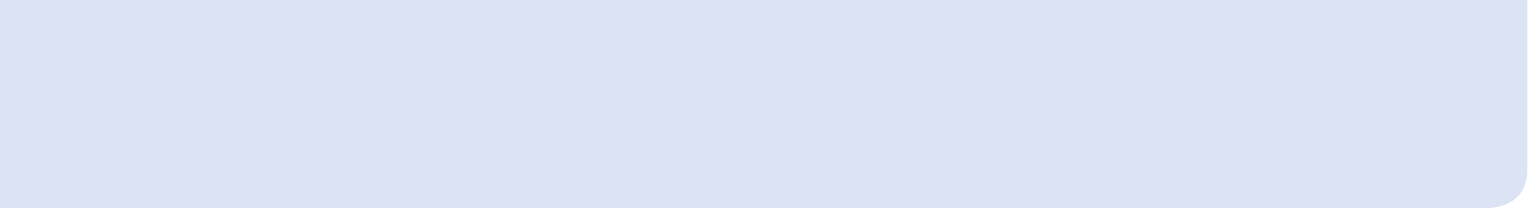
Viene posizionato un sensore nel cassetto della spazzola connesso con un profilometro a microprocessore.

Dopo aver ruotato l'albero, è possibile eseguire una stampa del profilo dell'anello.

Se la rotondità dell'anello non rientra in 0,05 mm di spostamento, l'anello deve essere rettificato.

La rettifica è un lavoro di precisione che viene fatto con l'ausilio di particolari pietre di rettifica e supporti.

Una rettifica manuale probabilmente finirebbe col peggiorare il problema.



## MORGAN ADVANCED MATERIALS

### LOCALITÀ DI PRODUZIONE



I nostri siti di produzione sono certificati ISO 9001

**Per qualunque domanda, contattate i nostri centri vendite e produzione specializzati:**

### ITALIA

#### MORGAN CARBON ITALIA SRL

Via Roma, 338  
64014 Martinsicuro (TE) - Italy

Tel +39 0861 798205

Fax +39 0861 760165

e-mail: [vendite.elettrico@morganplc.com](mailto:vendite.elettrico@morganplc.com)

web: [www.morgancarbon.com](http://www.morgancarbon.com)

### REGNO UNITO

#### MORGAN ADVANCED MATERIALS

Upper Florest Way  
Swansea SA6 8PP - UK

Tel +44 1792 763000

Fax +44 1792 763167

e-mail: [meclsales@morganplc.com](mailto:meclsales@morganplc.com)



<http://www.morganadvancedmaterials.com/markets/healthcare/>



Follow us on  
<https://twitter.com/morganadvanced>



Follow us on  
<https://www.facebook.com/MorganAdvancedMaterials>



Follow us on  
<http://www.linkedin.com/company/morgan-advanced-materials>