

Procesamiento de los cauchos de silicona RTV-2 de Wacker

Información general

Las principales propiedades características de los cauchos de silicona RTV-2 son:

- su consistencia
- su reactividad
- sus propiedades tras la vulcanización
- su sistema de reticulación

Consistencia

Según la consistencia del caucho se distingue entre productos de colada, de aplicación con pincel, de aplicación con pincel y resistentes al descuelgue, y productos moldeables. La viscosidad de la masa describe la fluidez de forma aproximativa. Cuanto mayor sea el valor expresado, más espesas serán las masas de colada y más rígidas las de aplicación con pincel. Los productos de aplicación con pincel que también son resistentes al descuelgue son menos fluidos que los productos de aplicación con pincel. Es decir, al aplicarlos sobre superficies verticales o inclinadas, no sólo no gotean (resistencia al descuelgue) sino que el espesor de la capa no aumenta indefinidamente (normalmente hasta un máximo de 10 mm). La consistencia suele expresarse, en estos casos y en el de las masas moldeables, por el valor de penetración definido como la profundidad de penetración en mm/10 de un cono normalizado ante la acción de una carga determinada. Cuanto mayor sea el valor de penetración más blanda será la masa. En los sistemas tixotrópicos, la consistencia se expresa por la viscosidad a distintos gradientes de cizallamiento. La viscosidad en gradientes altos de cizallamiento expresa la fluidez de la masa al ser sometida a un cizallamiento fuerte como, por ejemplo, durante la dosificación, la aplicación con boquilla, al ser agitada, racleada, etcétera. Los valores de viscosidad en gradientes bajos de cizallamiento describen el comportamiento de la masa sin ser sometida a cizallamiento o sólo a un cizallamiento muy leve como, por ejemplo, el fluir de la masa tras la aplicación.

Reactividad

La reactividad viene expresada por los tiempos de procesamiento y de vulcanización. Generalmente se llama tiempo de procesamiento al intervalo durante el que la masa de caucho catalizada aún puede ser colada, moldeada o aplicada con pincel. En aquellas aplicaciones que requieren una fluidez específica se define, no obstante, como el intervalo hasta doblar la viscosidad inicial (p.ej., colada de componentes electrónicos con hendiduras estrechas).

Índice

Información general

Consistencia	1
Reactividad (tiempos de procesamiento y vulcanización)	1
Propiedades del caucho vulcanizado	2
Sistemas de reticulación (condensación y adición)	2

Datos sobre seguridad

Almacenaje

Procesamiento

Equipo básico recomendado	4
Preparación de los componentes	4
Dosificación de los componentes	4
Mezcla de los componentes (catalización)	4
Desaireación de la masa	5
Aplicación	6
Tiempos de procesamiento y de vulcanización	6
Alteraciones de la vulcanización	6
Preparación del caucho vulcanizado	7

Instrucciones especiales de procesamiento

Modificación de la consistencia o de las propiedades del caucho vulcanizado	7
Adherencia a distintos materiales	8
Adhesión a distintos materiales	8
Coloración	8

 Reticulación por condensación

 Reticulación por adición

 Reticulación por condensación + reticulación por adición

Los tiempos de vulcanización señalados suelen describir exclusivamente el intervalo de tiempo a partir del cual el caucho deja de ser pegajoso y puede trabajarse mientras termina de vulcanizar. Con la vulcanización a temperatura ambiente, las propiedades definitivas del caucho vulcanizado tardan varios días en desarrollarse. De hecho, incluso los cauchos vulcanizados fabricados a temperaturas elevadas suelen experimentar distintos grados de reticulación durante el almacenamiento posterior a temperatura ambiente. Para acelerar al máximo este proceso se recomienda almacenar la masa durante varias horas a una temperatura no demasiado elevada (entre 100 y 120 °C), procedimiento conocido también como templado.

Propiedades del caucho vulcanizado

Los valores mecánicos y eléctricos definen dos de las principales propiedades del caucho vulcanizado. Respecto a las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado, además de la dureza, expresada normalmente en puntos de dureza Shore A (mayor cuanto más puntos), cabe destacar la resistencia al desgarro. Todo valor superior a 10 N/mm es indicativo de un producto "resistente al desgarro" y, por lo tanto, claramente más resistente al desgarro progresivo que los productos estándar.

La dureza del caucho vulcanizado en el caso de los tampones de impresión y de los geles de silicona es demasiado reducida y, por tanto, no puede determinarse por la dureza Shore A. Para los tampones de impresión se utiliza la escala Shore 00 y para los geles, aún más blandos, el grado de penetración (profundidad de penetración en mm/10 de un cono normalizado bajo una carga determinada). Al igual que en la escala Shore A, los valores Shore 00 elevados son indicativos también de una dureza elevada. En la penetración, sin embargo, la relación es inversamente proporcional, es decir, cuanto mayor es el valor, menor es la dureza del caucho vulcanizado. Las propiedades eléctricas del caucho vulcanizado son prácticamente independientes de la consistencia, la reactividad, las propiedades mecánicas o el sistema de reticulación.

Por el contrario, la mayoría de las propiedades de procesamiento y del caucho vulcanizado dependen en gran medida del tipo de sistema de reticulación.

Sistemas de reticulación

Se distingue entre dos sistemas de reticulación.

Reticulación por condensación

La vulcanización del caucho de silicona RTV-2 que reticula por condensación tiene lugar al añadir un endurecedor líquido o pastoso de la serie T a la masa de caucho.

Los números de lote de la masa de caucho y del endurecedor son, por lo general, diferentes.

Según el tipo y la cantidad de endurecedor utilizados se obtienen mayores o menores tiempos de procesamiento y de vulcanización. Cabe recordar que, para cada caucho de silicona, existen determinados endurecedores y márgenes de dosificación.

La adición de una cantidad de endurecedor **inferior** a la establecida impediría una vulcanización adecuada de la masa: el caucho permanece blando o incluso pegajoso, la resistencia mecánica es muy inferior y la resistencia a hincharse por la acción de disolventes o componentes de la resina de colada es significativamente menor.

La adición de una cantidad de endurecedor **superior** a la establecida supondría un exceso de reticulador en el caucho vulcanizado: el poder de desmoldeo del caucho disminuye y, al entrar en contacto con la humedad del aire, se induce un endurecimiento posterior del caucho vulcanizado que reduce significativamente su resistencia mecánica.

La vulcanización de los cauchos de silicona RTV-2 que reticulan por condensación puede realizarse a temperaturas entre 0 y un máximo de 70 °C. Cuando las temperaturas superan los 80 °C, la reacción de reticulación se revierte y el sistema permanece o se vuelve pegajoso o líquido.

Además del catalizador orgánico de estaño del endurecedor, para que la vulcanización sea adecuada se necesitan cantidades reducidas de humedad en la masa de caucho y en el aire. Durante la reticulación se libera un alcohol de bajo peso molecular, normalmente etanol o propanol. El caucho vulcanizado no podrá utilizarse hasta que se haya evaporado completamente el alcohol formado durante la reticulación. Dicha volatilización conlleva una pérdida másica responsable de una contracción tridimensional del caucho vulcanizado inferior al 5 % del volumen.

Reticulación por adición

Los cauchos de silicona RTV-2 que reticulan por adición vulcanizan al mezclar los componentes A y B.

Los componentes utilizados deben poseer siempre el mismo número de lote ya que, de lo contrario, podrían alterarse substancialmente las propiedades del producto.

Excepto en el caso de los geles de silicona, la mezcla de los mismos se realizará única y exclusivamente a las proporciones preestablecidas. De lo contrario, la vulcanización es generalmente insuficiente y surgen complicaciones similares a las mencionadas en el caso de la reticulación por condensación.

Los cauchos de silicona RTV-2 que reticulan por adición pueden vulcanizar a temperaturas entre 10 y 200 °C.

Dado que durante esta reticulación no se volatilizan productos de disociación, no existe riesgo de reversión de la reacción a altas temperaturas ni de contracción del caucho vulcanizado por una pérdida de masa. De ahí que los cauchos de silicona RTV-2 vulcanizados puedan utilizarse inmediatamente después del desmoldeo.

No obstante, existen sustancias que al entrar en contacto con el caucho sin vulcanizar pueden inhibir la reticulación al anular la reactividad del catalizador de complejo de platino y, por tanto, dificultar o incluso impedir la aplicación de los cauchos de silicona RTV-2 de reticulación por adición.

Datos sobre seguridad

Medidas de seguridad

Nuestra vasta experiencia acumulada a lo largo de varias décadas de trabajo con los cauchos de silicona RTV-2 muestra que tanto las masas de caucho de reticulación por condensación como las de reticulación por adición son productos no tóxicos ni agresivos en su forma de suministro. De ahí que sea innecesario adoptar medidas de seguridad adicionales a las normas generales de higiene en el trabajo.

Por el contrario, los endurecedores **sin diluir**, cuyo nombre comienza por una "T" mayúscula, utilizados para vulcanizar los cauchos que reticulan por condensación, pueden causar irritaciones cutáneas u oculares al entrar en contacto con estas zonas. Las personas con una especial predisposición podrían experimentar también síntomas alérgicos. De ahí que se recomiende adoptar medidas de seguridad.

Las zonas cutáneas que entren en contacto con el endurecedor sin diluir deberán limpiarse inmediatamente a fondo con agua y jabón. Si el endurecedor llegara a entrar en contacto con los ojos se enjuagarán inmediatamente con agua abundante durante varios minutos. En caso de síntomas de irritación deberá acudir inmediatamente a un médico.

Las fichas de seguridad les ofrecen información más detallada. Si no las hubiesen recibido junto con el folleto podrán solicitarlas en nuestros centros de distribución.

Información adicional

Los restos de caucho de silicona RTV-2 sin vulcanizar que queden en los envases o en la ropa pueden limpiarse fácilmente utilizando disolventes de grasa como la bencina o la acetona. Los restos que queden en los recipientes de trabajo podrán dejarse vulcanizar y limpiarse posteriormente sin dificultad.

Una vez iniciada la vulcanización o tras finalizar por completo la misma, sólo podrán limpiarse los restos de producto hinchándolos primero con uno de los disolventes ya mencionados y retirándolos después mecánicamente. En estos casos no es posible disolver el producto. Se recomienda tener en cuenta este aspecto a la hora de elegir la indumentaria de trabajo.

Cuando se trabaje con disolventes deberá garantizarse una ventilación suficiente del lugar de trabajo y respetarse las normas de seguridad correspondientes.

El punto 13 de las fichas de seguridad recoge la información concerniente a la correcta eliminación de los componentes sin vulcanizar y del caucho vulcanizado.

Almacenaje

Cauchos de reticulación por condensación

Como ya se ha mencionado anteriormente, para que la vulcanización de este tipo de cauchos sea adecuada, sobre todo en el caso de capas gruesas, es necesario la presencia de cantidades reducidas de humedad en el caucho. Para evitar que se pierda la humedad incorporada a la masa durante la fabricación, los envases deberán estar herméticamente cerrados y almacenarse a una temperatura entre 5 y 30 °C. Tras extraer caucho, los envases volverán a cerrarse herméticamente cuanto antes, es decir, no deberán permanecer mucho tiempo abiertos ni con la tapadera floja. De lo contrario podría producirse una vulcanización insuficiente que aumentaría en gran medida el tiempo hasta que la masa dejara de ser pegajosa o pudiera desmoldearse, retrasaría el endurecimiento en capa gruesa y elevaría significativamente su tendencia a adherirse al molde.

Cuando se observen este tipo de problemas de vulcanización derivados de una falta de humedad podrá restablecerse fácilmente el comportamiento inicial con tan sólo mezclar de 1 a 2 gramos de agua por kilogramo de caucho con la masa de caucho sin vulcanizar y sin endurecedor, y almacenarla herméticamente cerrada durante al menos 24 horas a temperatura ambiente. Durante este intervalo se evapora el agua líquida y la masa de caucho absorbe la humedad necesaria.

Los endurecedores de la serie T, por el contrario, reaccionan con la humedad formando un sedimento flocculento. Así pues, se recomienda cerrar herméticamente y de inmediato las botellas abiertas tras haber extraído la dosis necesaria de endurecedor. Se recomienda almacenarlas en un lugar lo más fresco posible y preferentemente entre 5 y 25 °C. La presencia de leves sedimentos no posee efecto alguno sobre las propiedades de procesamiento ni del caucho vulcanizado.

Cauchos de reticulación por adición

Los componentes de los cauchos de silicona RTV-2 que reticulan por adición deben almacenarse en los envases bien cerrados a una temperatura entre 5 y 30 °C.

Aviso

La posible inclusión de cantidades mínimas de catalizador de platino en el componente con el reticulador sería suficiente para activar la reacción. En estos casos se forman partículas vulcanizadas de un diámetro máximo de varios centímetros en la masa sin vulcanizar, o bien se libera hidrógeno. Una impureza de este tipo (contaminación por el catalizador de platino) puede producirse incluso cuando los envases abiertos de los componentes A y B estén uno al lado del otro. De ahí que deban cerrarse herméticamente justo después de extraer la cantidad necesaria.

Deberá prestarse especial atención de no introducir nunca el componente con el reticulador en máquinas de procesamiento que hayan estado en contacto con la mezcla de los componentes o con el componente que contiene el catalizador. Para evitar confusiones se recomienda rotular bien las máquinas.

En las fichas de los productos encontrarán información sobre qué componente contiene el catalizador y cuál otro el reticulador.

Procesamiento

Los cauchos de silicona RTV-2 son productos de tecnología punta cuya aplicación requiere conocimientos previos para poder maximizar su eficacia y evitar errores básicos de aplicación.

Antes de comenzar con el procesamiento deberá comprobarse que se dispone de todas las informaciones necesarias (fichas técnicas y de seguridad) que normalmente se incluyen con los envíos. En caso de no disponer de la documentación necesaria podrán solicitarla en los centros de distribución de Wacker.

Para el procesamiento de mayores cantidades de caucho de silicona RTV-2 podemos poner a su disposición una lista de fabricantes de mezcladoras y dosificadoras automáticas para masas bicomponentes.

Equipo básico recomendado

Procesamiento de cantidades pequeñas:

- báscula (precisión de 0,1 g) o recipiente graduado, pipeta o inyecciones desechables
- recipientes de mezcla limpios de metal o de plástico (preferentemente polietileno)
- espátula de metal, madera o plástico
- pincel de cerda corta y dura
- agitador mecánico (taladro con agitador de paletas; sistema de rodillos o amasadora para las masas moldeables)
- bomba de vacío (bomba de chorro de agua o de aceite) y recipientes de vacío (deseccador de vidrio o plástico, etc.)
- disolvente de grasa (bencina, acetona, metiletilcetona)

Preparación de los componentes

Las masas o componentes de colada (excepto los absolutamente transparentes) deben removerse preferentemente con un agitador mecánico **antes** de extraerlos del envase y **antes** de procesarlos dentro del mismo, a fin de garantizar una distribución uniforme de las cargas que se hubiesen sedimentado durante el almacenamiento.

Aquellos productos con una mayor resistencia al desgarro, que presenten una consistencia más espesa tras el almacenamiento, deberán agitarse también para restituir la consistencia óptima.

Dosificación de los componentes

La dosificación de los componentes deberá realizarse con gran exactitud ya que sólo con proporciones exactas de mezcla es posible obtener tiempos de vulcanización y de procesamiento reproducibles y, lo que es aún más importante, obtener cauchos vulcanizados con propiedades que satisfagan las especificaciones. La dosificación puede realizarse por pesada (báscula) o por volumen (recipientes graduados, pipetas, inyecciones desechables). En este segundo caso y dado que la documentación sobre las proporciones de mezcla suele ofrecer datos en partes en peso, deberá calcularse la proporción en volumen a partir de las densidades recogidas en las fichas técnicas y de seguridad. Este modo de proceder rige también cuando se utilicen mezcladoras y dosificadoras automáticas.

Aviso

El volumen de los recipientes de pesaje utilizados para desalear las masas catalizadas deberá ser, como mínimo, cuatro veces superior al volumen de la masa de caucho catalizada (véase el apartado "Desaireación de la masa").

En caso de errores de dosificación del endurecedor con los cauchos de silicona RTV-2 que reticulan por condensación pueden surgir los siguientes problemas:

Signos de sobredosificación

- Tiempos reducidos de procesamiento (en casos extremos, inhibición total de la vulcanización)
- Tendencia de la masa a adherirse a otros materiales (efecto de imprimación)
- Contracción química significativamente superior
- Endurecimiento posterior del caucho vulcanizado por acción de la humedad del aire (la masa se deshace)
- En el caso de los productos con una elevada resistencia al desgarro progresivo se observa al poco tiempo una pérdida significativa de dicha propiedad.

Dosificación insuficiente

- Retraso de la reacción de reticulación (en casos extremos, inhibición parcial o completa de la vulcanización)
- Tendencia de la masa a adherirse a otros materiales (pegajosidad)
- Cauchos vulcanizados blandos de reducida resistencia mecánica y con una tendencia significativamente superior a hincharse.

En el caso de los cauchos de silicona RTV-2 que reticulan por adición, las consecuencias de una dosificación incorrecta del componente B son variables y dependientes tanto de la proporción de la mezcla (A : B) como de en qué componente se encuentre el reticulador y en qué otro el catalizador.

En cualquier caso se alteraría la proporción óptima entre polímero y reticulador, así como la concentración de catalizador. Los defectos observados incluyen:

- tiempos mayores o menores de procesamiento (en casos de variaciones extremas, inhibición total o parcial de la vulcanización)
- cauchos vulcanizados blandos con una reducida resistencia mecánica y una tendencia a hincharse significativamente superior
- endurecimiento posterior de los cauchos ya vulcanizados (en caso de exceso de reticulador)
- mayor tendencia a la inhibición (en caso de falta de catalizador)

Mezcla de los componentes (catalización)

La mezcla de los componentes, caucho y endurecedor en la reticulación por condensación, y A y B en la reticulación por adición, deberá ser siempre completamente homogénea.

Con la utilización de agitadores mecánicos o de mezcladoras y dosificadoras automáticas puede garantizarse una mezcla adecuada de grandes cantidades de productos de colada o de aplicación con pincel. En caso de cantidades reducidas se obtienen también buenos resultados con la mezcla manual con espátula. Con los agitadores de paletas planas perforadas y ligeramente inclinadas respecto al eje se obtienen muy buenos resultados. Así mismo se recomiendan los discos dentados en el caso de los agitadores de alta velocidad (*dissolver*). Dependiendo de las cantidades, las masas moldeables se mezclan manualmente, con rodillos o con amasadoras.

Aviso

Cuando los componentes de mezcla poseen viscosidades muy diferentes (p. ej., endurecedor T líquido y masa de caucho), el más líquido de ellos tiende a sedimentarse en la pared del recipiente durante la mezcla. Para evitar concentraciones localizadas demasiado elevadas y sus consecuencias (vulcanización irregular, falta de homogeneidad) se utilizará una espátula para ir despegando el material que se haya adherido a las paredes. Este procedimiento es necesario también al utilizar agitadores mecánicos.

La homogeneidad de las mezclas catalizadas elaboradas con componentes de distinto color, que al mezclarse confieren un color característico a la mezcla, puede controlarse fácilmente mediante una inspección visual. Dicha posibilidad es especialmente útil en el caso de mezcladoras y dosificadoras automáticas ya que permite reconocer con facilidad posibles alteraciones tanto durante la dosificación como en la mezcla.

A menudo, cuando uno de los dos componentes es incoloro o cuando la mezcla no adquiere un color característico, puede recurrirse a una coloración posterior de los componentes originales.

A este fin se añadirá de un 0,5 a un 1 % en peso de una pasta colorante ELASTOSIL® FL de Wacker a la dosis reducida de cada componente (véase la ficha correspondiente).

Cuando uno de los componentes sea un endurecedor líquido de la serie T se añadirá primero la pasta y a continuación se agitará fuertemente la botella de endurecedor para que el pigmento insoluble pueda distribuirse uniformemente.

Debido a la elevada densidad del pigmento y la reducida viscosidad del líquido, el pigmento se va depositando en el fondo poco después de haber agitado la botella. De ahí que deba agitarse siempre antes de extraer el producto.

Un procedimiento alternativo sería teñir el endurecedor con un 1 % en peso de un color rojo intenso utilizando "Concentrado de color rojo" (producto número: 0030552).

Al tratarse en este caso de un pigmento soluble no habría sedimentación. No obstante, dado que ciertos disolventes y algunos componentes de la resina de colada podrían disolver el colorante del caucho vulcanizado, no se recomienda utilizar este producto cuando el caucho vaya a emplearse para procesar resinas de colada y desee evitarse una posible coloración roja de la pieza moldeada.

Desaireación de la masa

Al no mezclarse los componentes al vacío resulta imposible impedir que se introduzca aire en la masa de caucho. Sólo en casos excepcionales, la viscosidad del caucho catalizado será tan reducida que se produce una desaireación automática total o suficiente durante el tiempo de procesamiento.

Para obtener cauchos vulcanizados exentos por completo de burbujas de aire, las mezclas de colada, es decir, líquidas (viscosidad máxima de 200 000 mPa s) se desairearán en desecadores o **armarios de vacío** a baja presión (10–20 mbar). Normalmente se utilizan bombas de aceite por su baja presión. Sin embargo, cuando se disponga de agua corriente muy fría (menos de 10 °C) podrán utilizarse también bombas de chorro de agua.

Los recipientes utilizados no se llenarán más de un cuarto de su volumen ya que la masa catalizada se dilata en gran medida durante la desaireación. De este modo puede garantizarse una máxima expansión de la masa de caucho y reducirse al mínimo el tiempo de desaireación.

Durante la desaireación, la masa se expande primero y se contrae después por sí misma. Cuando el recipiente no posee la capacidad suficiente debe ventilarse brevemente la masa cada vez que exista peligro de que rebose. Esta operación se repite entonces tantas veces como sea necesario hasta que la masa se expanda y contraiga por sí misma al vacío total. Una vez alcanzado este punto se interrumpe la desaireación.

El proceso de desaireación no deberá tardar más de cinco minutos. Si tras este intervalo la masa aún presenta burbujas se habrá debido a que el recipiente utilizado era demasiado pequeño o el vacío no era suficiente para eliminar todo el aire del caucho. Si la desaireación se repitiera tantas veces como fuese necesario hasta eliminar todas las burbujas de la masa se eliminarían también los componentes volátiles necesarios para una vulcanización adecuada. Por otro lado, cuanto más tiempo tarde la desaireación, menor será el tiempo de procesamiento.

Cuando se utilicen dosificadoras y mezcladoras automáticas, los recipientes de desaireación deberán poseer también un agitador para que los componentes lleguen a la mezcladora (estática o dinámica) exentos ya de burbujas y puedan mezclarse sin que entre aire.

Al contrario que con las masas de colada, ni las masas de aplicación con pincel de alta viscosidad o resistentes al descuelgue ni las masas moldeables pueden desairearse de este modo. En estos casos se intentará reducir al máximo el tamaño de las burbujas y las consiguientes molestias mezclando muy bien la masa. Otra posibilidad sería cubrir primero las zonas más críticas con una capa fina sin burbujas de masa de colada y, cuando la masa empezara a vulcanizar (no esperar hasta el tiempo no pegajoso), se aplicaría la otra masa moldeable o de pincel con burbujas.

Aplicación

La colada de los cauchos de silicona RTV-2 tras la desaireación al vacío se realizará con chorro fino a la menor distancia posible.

Siempre que no sea posible una desaireación previa de la masa podrá eliminarse un poco de aire aumentando la distancia y reduciendo al máximo el grosor del chorro. No obstante, cuando los modelos deban cubrirse de caucho sin burbujas o cuando se trate de productos de aplicación con pincel, se aplicará primero una capa fina sin burbujas de masa de colada catalizada utilizando un pincel de cerda corta y rígida. Una vez iniciada la vulcanización, y mientras el caucho siga siendo pegajoso, se aplicará un sistema de colada de la forma descrita anteriormente o una capa de un producto de aplicación con pincel. Las masas moldeables se aplicarán manualmente o con rodillo.

Tiempos de procesamiento y vulcanización

Tanto en la reticulación por condensación como por adición, el tiempo de procesamiento o tiempo abierto, es decir, el intervalo durante el que el caucho catalizado puede trabajarse, depende principalmente de la temperatura. Dicho intervalo puede disminuirse significativamente calentado la masa y, viceversa, aumentarse enfriándola. Como valor orientativo, una variación de 7 °C doblaría o reduciría a la mitad el tiempo abierto.

Dado que la viscosidad de la masa aumenta durante la vulcanización, volviéndose más espesa y menos fluida, no se recomienda prolongar mucho la aplicación. Dicho de otro modo, se recomienda aplicar la masa catalizada cuando tenga todavía una viscosidad reducida, es decir, sea fluida o pastosa y blanda.

En los productos de reticulación por condensación, el tiempo de vulcanización depende también de la temperatura aunque no de forma tan notable como en los cauchos de reticulación por adición.

Normalmente, suele diferenciarse entre el intervalo hasta que el caucho vulcanizado deja de ser pegajoso y puede, por ejemplo, desmoldearse o bien manipularse el modelo recubierto sin sufrir daños, y el intervalo hasta que la vulcanización haya finalizado. Según la temperatura, esta última fase puede durar varios minutos como en la reticulación por adición o meses como en la reticulación por condensación. Hasta que no haya concluido la vulcanización pueden producirse reticulaciones posteriores que podrían alterar la forma de los moldes sometidos a deformaciones permanentes.

Al acelerar la vulcanización aumentando la temperatura se observa una contracción térmica de volumen del caucho vulcanizado durante el enfriamiento igual al coeficiente de dilatación térmica del caucho. (**Atención:** las masas de reticulación por condensación no deben ser sometidas a más de 70 °C debido al peligro de reversión del proceso de reticulación.) Según ocurra la dilatación térmica antes o después de reticular el caucho (proceso dependiente, entre otros, del tiempo abierto) podrán producirse deformaciones geométricas del caucho vulcanizado durante el enfriamiento a temperatura ambiente. Este proceso se observa tanto en los productos de reticulación por condensación (a los que se añadiría la contracción química) como en los de reticulación por adición. Cuando sea necesario trabajar con una máxima estabilidad dimensional deberá realizarse la vulcanización a la temperatura posterior de aplicación o calcular las variaciones dimensionales en ensayos previos.

La dilatación térmica por calentamiento también deberá tenerse siempre en cuenta en los sistemas cerrados (cajas, etc.). Dado que los elastómeros de silicona sólo pueden comprimirse con presiones muy altas, toda dilatación térmica que tenga lugar en un espacio demasiado pequeño y sin posibilidades de escape generará enormes fuerzas de presión con un enorme poder destructivo.

Además de variando la temperatura de procesamiento, los tiempos abiertos y de vulcanización pueden modificarse dentro de los amplios márgenes permitidos añadiendo el Inhibidor PT 88 o el Catalizador OL. En las fichas técnicas encontrarán información más detallada y gráficos.

Alteraciones de la vulcanización

Los cauchos de silicona RTV-2 que reticulan por condensación necesitan de pequeñas cantidades de humedad para poder endurecerse con rapidez y por completo.

El apartado titulado "Almacenaje" les ofrece información detallada sobre los problemas derivados de una falta de humedad en la masa de caucho.

Cuando la humedad relativa del aire sea inferior a un 40 %, las superficies del caucho vulcanizado expuestas al aire pueden permanecer pegajosas o incluso líquidas. En estos casos deberá aumentarse la humedad ambiente utilizando, por ejemplo, un vaporizador, un nebulizador, paños húmedos, etcétera. Los niveles de humedad pueden controlarse fácilmente utilizando un higrómetro. La adición de agua a la masa no sería eficaz en estos casos.

En los **cauchos de silicona RTV-2 que reticulan por adición** puede producirse una alteración o inhibición de la reticulación cuando el caucho **sin vulcanizar** entra en contacto con ciertas sustancias o materiales que alteran la acción del catalizador de complejo de platino. Tales sustancias pueden encontrarse en alguna de las superficies que vayan a estar en contacto con la masa de caucho (modelo, herramientas, etc.) pero también en el ambiente (interior de hornos de templado o armarios calefactores en los que se hubieran endurecido resinas de colada que liberan sustancias inhibidoras).

Las principales sustancias inhibidoras son:

- azufre, ciertos compuestos de azufre como los polisulfuros, las polisulfonas y otros materiales que contengan azufre como sería el caso de los cauchos naturales y algunos de los sintéticos (EPDM, etc.).
- aminas, uretanos y sustancias con amina como las resinas epoxídicas endurecidas con amina, ciertos poliuretanos, etc.
- compuestos organometálicos, sobre todo los compuestos orgánicos de cinc, y aquellos materiales que los contengan (cauchos vulcanizados y endurecedores de los cauchos de silicona RTV-2 que reticulan por condensación, etc.).
- diversos aceites, grasas, ceras y resinas, tanto naturales como sintéticos, así como aquellos materiales que los contengan (numerosos desmoldeantes y casi todos los tipos de plastilina, etc.).

Se recomienda, por lo tanto, ensayar previamente el efecto inhibidor de los materiales que vayan a estar en contacto con el caucho sin vulcanizar de reticulación por adición. La presencia de partes líquidas, así como de cauchos vulcanizados con superficies claramente blandas o pegajosas, o bien un marcado retraso en la vulcanización, son claros indicativos de una inhibición.

Preparación del caucho vulcanizado

Dependiendo del tipo de reticulación y de las condiciones de vulcanización y de aplicación deberán satisfacerse en ciertos casos determinados requisitos o adoptarse ciertas medidas antes de poder utilizar los cauchos de silicona RTV-2 vulcanizados.

Los **cauchos vulcanizados de cauchos que reticulan por condensación** deben haber liberado por completo el alcohol volátil formado durante la reticulación antes de

- darles la forma final (juntas, etc.); de lo contrario podrá producirse una deformación remanente de un 100 % que implica una pérdida total de la capacidad de recuperación
- calentarlos a temperaturas superiores a 90 °C a fin de evitar una reversión de la reacción de reticulación que reblandecería o incluso volvería líquido el caucho dentro de las capas gruesas o en los sistemas cerrados
- realizar sellados herméticos al vapor de alcohol (sellado eléctrico encapsulado, etc.). De no ser así se producirían corrosiones masivas de metales y plásticos. Este efecto se observaría también a largo plazo a temperatura ambiente.
- ponerlos en contacto con agentes químicos corrosivos o hinchantes (moldes para el procesamiento de resina de colada, etc.) ya que se produciría una reducción drástica de la durabilidad.

Para eliminar por completo el alcohol de los cauchos recién vulcanizados que hayan reticulado por condensación se recomienda almacenarlos durante **varios días** a temperatura ambiente (unas 24 horas por cm de espesor hasta la superficie al aire más próxima) o varias horas a un máximo de 70 °C (unas 6 horas por cm de espesor hasta la superficie al aire más próxima). En ambos casos, el caucho se almacenaráabierto y dejando la mayor cantidad posible al aire.

Los **cauchos vulcanizados de cauchos que reticulan por adición** no contienen productos de reacción por lo que, en un principio, pueden utilizarse inmediatamente después de haber finalizado la reticulación. No obstante, dado que este proceso puede llegar a tardar varios días cuando tiene lugar a temperatura ambiente, se recomienda someterlos a un tratamiento térmico de varias horas a 100 °C para completar la reticulación, sobre todo cuando la deformación remanente deba ser mínima.

En general puede afirmarse que un tratamiento térmico de varias horas a una temperatura mínima igual a la de la futura aplicación y máxima de 180 °C suele ser un modo de maximizar el rendimiento de los cauchos vulcanizados, que se han obtenido a partir de cauchos reticulados por condensación exentos de alcohol y de cauchos reticulados por adición.

Instrucciones especiales de procesamiento

Modificación de la consistencia o de las propiedades del caucho vulcanizado

La viscosidad de las masas de colada o de aplicación con pincel, así como la resistencia a la penetración de las masas moldeables o de aplicación con pincel y resistentes al descuelgue puede modificarse en gran medida añadiendo distintos aditivos.

La adición de un aceite de silicona de la serie AK bastaría para modificar la viscosidad y la resistencia a la

penetración. Cuando la viscosidad del aceite sea inferior a la de la masa de caucho, la viscosidad del sistema se reducirá proporcionalmente a la cantidad añadida. Del mismo modo, cuando la viscosidad del aceite sea superior, el aumento de la viscosidad será también directamente proporcional a la cantidad empleada. Por el contrario, en el caso de la penetración, la adición del aceite produce siempre un aumento de la misma (el sistema adquiere una consistencia pastosa y blanda).

Aviso

El aceite de silicona no participa en la reticulación y, por lo tanto, posee un efecto plastificante sobre el caucho vulcanizado que alterará en mayor o menor medida sus propiedades mecánicas. La dureza del caucho vulcanizado, la resistencia al desgarro y la resistencia al desgarro progresivo experimentarán por tanto una cierta disminución y el alargamiento a la rotura un aumento. Siempre que la cantidad añadida no exceda un 5 % en peso, las alteraciones de las propiedades del caucho vulcanizado suelen carecer de importancia.

Dependiendo de la viscosidad del aceite de silicona añadido y de la composición del caucho (densidad de reticulación, contenido de cargas, etc.) se observará una mayor o menor tendencia a la exudación del aceite sin reticular presente en el caucho vulcanizado y se formará una capa de aceite de espesor variable en la superficie del caucho vulcanizado. En general, cuanto mayor es la viscosidad del aceite y más alta la dureza del caucho vulcanizado mayor es también la tendencia a la exudación. Normalmente, con los aceites AK de viscosidades inferiores a 200 mm²/s, la exudación suele ser reducida mientras que con los de viscosidades superiores a 10 000 mm²/s suele ser significativa.

La fluidez de los productos originariamente de colada puede alterarse también añadiendo ciertos aditivos justo antes de la aplicación, con lo que se obtiene una fluidez desde ligeramente menor hasta completamente resistente al descuelgue. Para obtener una consistencia resistente al descuelgue en las masas de colada con propiedades mecánicas estándar podrá utilizarse un determinado porcentaje en peso de sílice pirogénica (p. ej., Wacker HDK® N 20). En los productos resistentes a la entalladura que reticulan por condensación podrá añadirse de 1 a un 2 % en peso del aditivo Espesante M, y para los de reticulación por adición que sean resistentes a la entalladura se empleará de un 0,3 a un 0,5 % en peso del Estabilizador 43.

Cuando deba reducirse expresamente la dureza original del caucho, por ejemplo para obtener cauchos vulcanizados muy blandos para tampones de impresión, se añadirá, así mismo, un aceite de silicona de la serie AK. Si fuese necesario evitar o reducir a un mínimo la exudación se añadirá un aceite AK con una viscosidad inferior a 50 mm²/s. Por el contrario, si se desea obtener una superficie grasienta se sustituirá un porcentaje (máximo de un 25 %) del aceite de baja viscosidad (AK 35, etc.) previsto para reducir la dureza por un aceite AK con una viscosidad superior a 10 000 mm²/s (p. ej., AK 30 000).

Dado que el aceite de silicona añadido reduce la resistencia del caucho vulcanizado a los agentes hinchantes (disolventes o productos con disolventes, etc.) deberá utilizarse un caucho básico lo más blando posible siempre que sea necesario maximizar en la medida de lo posible la resistencia al hinchamiento. De este modo se reduce la cantidad de aceite necesaria para reducir la dureza. La dilución derivada de añadir dosis elevadas de aceite (> 20 % en peso) aumenta los tiempos de vulcanización y de procesamiento. Este efecto puede compensarse aumentando en un 1 % la dosis de