VADEN®
ORIGINAL

دليل تقني

# مشبك العادم وأنبوب التوصيل: أعراض الأعطال والاستبدال والصيانة

عند ارتخاء مشبك العادم في الشاحنة، أين تبحث عن صوت التسرب وأثر السخام؟ تعرف على تشقق أنبوب التوصيل وسطح الشفة وترتيب التركيب الصحيح. اكتشف الآن.

**vadenoriginal.com** · **vaden.com.tr** · الإصدار: أكتوبر 2026 · مركبة تجارية ثقيلة (شاحنة · رأس قاطرة · حافلة)

يعد خط العادم في المركبات التجارية الثقيلة من أكثر المجموعات تعرضًا للإهمال، وهو في الوقت نفسه من أكثرها تسببًا في أعمال الإصلاح. فالشكوى التي تبدأ في رأس قاطرة يصل إلى الورشة بعبارة «ظهر صوت من الشاحن التوربيني» تنتهي في أغلب الأحيان إلى وصلة عادم مرنة متشققة أو مشبك مرتخٍ. أما في المركبات المطابقة لمعياري Euro 5 وEuro 6 فالمشكلة لا تقتصر على الصوت، إذ يتحول أصغر تسرب في الخط إلى خطأ في كفاءة نظام SCR، ثم إلى رمز عطل يخفض عزم الدوران، وقد ينتهي بتوقف المركبة على الطريق. يشرح هذا الدليل كيفية تشخيص أعطال مشبك العادم وأنبوب التوصيل في الميدان، وكيفية استبدالهما بالطريقة الصحيحة، وكيفية إطالة عمرهما.

أعد الفريق الفني في VADEN هذا المستند استنادًا إلى تطبيقات خطوط العادم في المركبات التجارية الثقيلة وملاحظات خدمة الصيانة الميدانية. القيم الواردة هنا مرجعية عامة، والمرجع المعتمد للبيانات الدقيقة هو أحدث دليل خدمة OE المطابق لرمز المحرك/الشاسيه الخاص بالمركبة. آخر تحديث: سبتمبر 2026.

## ما هو مشبك العادم وأنبوب التوصيل؟ وظيفتهما ومبدأ عملهما

**مشبك العادم وأنبوب التوصيل مجموعة توصيل تربط مسار الغاز بإحكام يمنع التسرب بين مشعب العادم ومخرج الشاحن التوربيني ووحدة DPF/SCR وكاتم الصوت في المركبات التجارية الثقيلة. ويستوعب الأنبوب المرن الملفوف ذو الغلاف المضفر اهتزاز المحرك على كراسيه المطاطية الذي يبلغ نحو 3-8 مم، وحرارة العادم المستمرة البالغة 450-650 °C، بينما يثبت المشبك ذو المقطع V أو المشبك بمسمار ملولب على شكل U سطح الوصل عادة بعزم ربط ضمن نطاق 80-10 Nm.**

يقوم منطق عمل مجموعة مشبك العادم وأنبوب التوصيل على أداء مهمتين متعارضتين في آن واحد: يجب أن يكون الخط **محكم الإغلاق**، وأن يبقى في الوقت نفسه **قابلًا للحركة**. فالمحرك مثبت على الشاسيه بكراسي مطاطية، ويتحرك باستمرار تحت الحمل وفي سرعة الخمول وأثناء الكبح. أما كاتم صوت العادم ووحدة المعالجة اللاحقة فمثبتان على الشاسيه. وإذا لم يمتص شيء هذه الحركة النسبية بينهما، انتقل الإجهاد مباشرة إلى خطوط اللحام وشفة المشعب، فتكون النتيجة مسمارًا ملولب الطرفين مكسورًا أو مشعبًا متشققًا أو أنبوبًا مشقوقًا.

تمتص وصلة العادم المرنة هذا الإجهاد بفضل بنيتها المتعددة الطبقات. ففي الداخل يوجد أنبوب داخلي (طبقة متشابكة أو شرائحية) يوجه تدفق الغاز ويقلل الاحتكاك الداخلي، وفي الوسط جسم ممو ج أو ملفوف لولبيًا من الفولاذ المقاوم للصدأ يوفر المرونة الفعلية، وفي الخارج غلاف من الأسلاك المضفرة يحمي الجسم من الصدمات والحجارة والشد المفرط. وبفضل هذه البنية الثلاثية تستوعب القطعة الحركة المحورية والزاوية معًا، ولا تنتفخ تحت الضغط.

ومع أن مهمة المشبك تبدو أبسط، فإن هامش التفاوت فيها أضيق. إذ يضغط المشبك طرفي أنبوبين أو شفتين بقوة محيطية محددة فيثبت سطح الحشية في موضعه. وعندما ترتفع الحرارة يتمدد المعدن، وعندما يبرد ينكمش، والمتوقع من المشبك أن يتحمل هذه الدورة آلاف المرات دون أن يفقد قوة شده. لذلك تختلف سماكة الشريط وفئة المسمار الملولب وجودة المادة في المشابك المستخدمة في المركبات التجارية الثقيلة اختلافًا كبيرًا عن مشبك الخرطوم العادي.

### المكونات الرئيسية للمجموعة

- **الأنبوب المرن الملفوف أو المموج (وصلة العادم المرنة):** يمتص الحركة النسبية بين المحرك والشاسيه والتمدد الحراري.
- **الغلاف الخارجي من الأسلاك المضفرة:** يحد من الانثناء المفرط، ويحمي من الصدمات الخارجية وارتطام الحجارة.
- **المشبك ذو المقطع V (V-band):** شائع في وصلات مخرج الشاحن التوربيني ووحدتي DPF وSCR، ويضغط على سطح الحشية بالتساوي مع توسيط الوصلة.
- **المشبك بمسمار ملولب على شكل U:** يستخدم في الوصلات المتداخلة التي يركب فيها أنبوب فوق آخر، ويوفر قوة شد عالية.
- **مشبك الجلبة العريض الشريط:** يحقق إحكامًا محيطيًا دون سحق طرف الأنبوب، ويسهل فكه وإعادة تركيبه.
- **حشية الشفة:** تكون من الجرافيت، أو مقواة بشبكة سلكية، أو من النوع الكروي (الحلقي)، وتختار بحسب الحرارة وشكل السطح.

- **العلاقات والكراسي المطاطية وحوامل التثبيت:** تحمل وزن الخط، وعندما يصيبها الكلال ينتقل الحمل مباشرة إلى الأنبوب المرن.

### علاقة خط العادم بنظام الانبعاثات في مركبات Euro 6

في المركبات المطابقة لمعيار Euro 6 (إطار انبعاثات المركبات الثقيلة ضمن لائحة UNECE R49) لم يعد خط العادم مجرد أنبوب لتصريف الغاز، بل أصبح خط قياس. إذ توجد على الخط حساسات حرارة العادم EGT، وخراطيم فرق الضغط الخاصة بفلتر DPF، وحساسات NOx قبل نظام SCR وبعده. وتفترض هذه الحساسات أنها تقيس داخل حجم مغلق. ولذلك فإن تسربًا صغيرًا بين DPF وSCR أو قبل حساس NOx يؤدي إلى دخول الهواء من الخارج إلى الخط، فيقرأ الحساس قيمة NOx أقل من المتوقع، وتحسب وحدة التحكم في المحرك كفاءة SCR بصورة خاطئة، وقد يظهر رمز من نوع «كفاءة SCR أقل من الحد» مع تفعيل تقييد عزم الدوران. ومن أكثر الأخطاء شيوعًا في الميدان أن يتهم في هذه الحالة حاقن AdBlue أو حساس NOx أولًا، مع أن اختبار التسرب يكشف في أغلب الأحيان أن المشكلة في حشية أحد المشابك.

### جوانب الحرارة والمواد والضوضاء

يحدد اختيار المادة في مكونات مشبك العادم وأنبوب التوصيل العمر التشغيلي مباشرة. وتعرف درجات الفولاذ المقاوم للصدأ ضمن عائلة معايير EN 10088؛ ففي المنطقة الساخنة من الخط القريبة من الشاحن التوربيني تفضل الدرجات الأوستنيتية والدرجات المثبتة بالتيتانيوم، وفي المنطقة الخلفية تفضل الدرجات الفريتية الأكثر اقتصادية. أما الأسس الهندسية للمشابك الشريطية فموصوفة في عائلة معايير DIN 3017. ومن ناحية الصوت تسري على المركبة ككل لائحة الضوضاء ECE R51، فخط العادم الذي يسرب ليس مشكلة راحة فحسب، بل سبب لعدم مطابقة يمكن اكتشافه في الفحص الفني الدوري وفي التفتيش على الطريق. وتقدم عائلات المعايير هذه الإطار العام، ويجب التحقق من جودة القطعة ومقاسها من كتالوج OE المعني.

أنواع وصلات العادم في المركبات التجارية الثقيلة ومواضع استخدامها المعتادة وأبرز خصائصها (مرجع عام)

| نوع الوصلة | موضع الاستخدام المعتاد | أساس الإحكام | الميزة / القيد الأبرز |
|---|---|---|---|
| مشبك بمقطع V (V-band) | مخرج الشاحن التوربيني، ومدخل وحدتي DPF وSCR | زوج شفتين مخروطيتين + حشية حلقية | توسيط جيد وقابل للفك المتكرر؛ يسرب إذا تضرر سطح الحشية |
| مشبك بمسمار ملولب على شكل U | الوصلات المتداخلة (أنبوب فوق أنبوب) | سحق الأنبوب محيطيًا | قوة تثبيت عالية؛ يستخدم عادة مرة واحدة لأنه يشوه الأنبوب |
| مشبك جلبة عريض الشريط | الأنابيب الوسيطة، ومدخل كاتم الصوت | ضغط محيطي منتظم بشريط عريض | لا يسحق الأنبوب وقابل للفك وإعادة التركيب؛ اختيار القطر الصحيح أمر حاسم |
| وصلة شفة بمسامير ملولبة | مخرج المشعب، المنطقة الساخنة | حشية من الجرافيت أو الشبكة السلكية | يتحمل الحرارة العالية؛ خطر انكسار المسامير الملولبة الطرفين مرتفع |
| وصلة كروية (حلقية) | الوصلات المائلة بين المشعب والأنبوب الأمامي | حشية كروية + مسامير ملولبة بنوابض | يتحمل عدم المحاذاة الزاوي؛ ينخفض ضغط النابض مع الوقت |
| أنبوب التوصيل المرن (وصلة العادم المرنة) | بين المحرك وخط العادم المثبت على الشاسيه | طرف ملحوم + مشبك/شفة | يمتص الحركة والاهتزاز؛ تنفك الشبكة المضفرة إذا تعرض لشد مفرط |

لا تختر القطعة اعتمادًا على اسم العلامة التجارية أو على معلومة «المركبة نفسها». ففي طراز رأس القاطرة الواحد تستخدم أنابيب توصيل بأطوال وأقطار مختلفة بحسب رمز المحرك ونوع الكابينة والمسافة بين المحاور وتهيئة وحدة المعالجة اللاحقة. وللاختيار الصحيح يجب استخدام رمز المحرك/الشاسيه الخاص بالمركبة مع الرقم المرجعي OE الموجود على القطعة القديمة معًا، والتحقق من القطر الخارجي للأنبوب وطوله الكلي بمقارنتهما بالقطعة المفكوكة.

# كيف تعرف أن مشبك العادم أو أنبوب التوصيل معطل؟

يتطور عطل مشبك العادم وأنبوب التوصيل تدريجيًا في أغلب الأحيان: في البداية هسهسة خفيفة تسمع عند التشغيل على البارد، ثم صوت نفث يتضح تحت الحمل، وفي النهاية أثر سخام ظاهر ومصباح عطل مضاء. ويعرض الجدول التالي أكثر الأعراض شيوعًا في الميدان مع أسبابها المحتملة.

جدول الأعراض والأسباب والفحص لمشبك العادم وأنبوب التوصيل (مرجع للتشخيص الميداني)

| العرض | السبب المحتمل | الفحص / التحقق |
|---|---|---|
| هسهسة عند أول تشغيل على البارد، وصوت نفث يخف بعد الإحماء | ارتخاء المشبك أو تسرب دقيق في سطح الحشية؛ ينغلق جزئيًا عندما يتمدد المعدن بالحرارة | الاستماع في سرعة الخمول والمحرك بارد؛ فحص الوصلات باليد (وهي باردة)؛ يفضل اختبار الدخان البارد بدلًا من رغوة الصابون |
| صوت نفث معدني يزداد تحت الحمل / ضوضاء تشبه صوت الشاحن التوربيني | تشقق في وصلة العادم المرنة أو انفكاك الشبكة المضفرة | رفع المركبة على منصة الرفع وفحص الأنبوب بالنظر؛ تفقد الوصلات والغلاف المضفر بمصباح يدوي؛ ثني الأنبوب باليد قليلًا وملاحظة تغير الصوت |
| تراكم السناج والسخام ومسحوق أسود جاف عند موضع الوصلة | تسرب مستمر؛ يحمل الغاز المتسرب السناج إلى الخارج | تنظيف الوصلة ثم إعادة فحصها بعد قيادة تجريبية قصيرة؛ إذا عاد أثر السخام تأكد التسرب |
| رائحة العادم في الكابينة، ولا سيما في سرعة الخمول وعند الرجوع إلى الخلف | تسرب في منطقة قريبة من حجرة المحرك يصل إلى مدخل الهواء النقي للكابينة | تشغيل مروحة الكابينة على الهواء الخارجي في سرعة الخمول وتتبع الرائحة؛ إظهار نقطة التسرب بالدخان |
| رمز انخفاض كفاءة SCR / خطأ منطقي في حساس NOx | دخول هواء زائف إلى الخط بسبب تسرب قبل الحساس | متابعة بيانات NOx وEGT الحية بجهاز التشخيص؛ إخضاع مقطع الخط DPF-SCR لاختبار الدخان تحت الضغط |
| خطأ فرق الضغط في فلتر DPF أو تعذر إكمال التجديد | تسرب قرب وصلة خرطوم فرق الضغط يفسد القياس | فحص خراطيم فرق الضغط وأطراف وصلات الربط؛ التحقق من عزم ربط المشابك على الخط |
| اهتزاز، والإحساس برجفة في لوحة العدادات عند سرعات الدوران العالية | تصلب الأنبوب المرن أو انقطاع الكرسي المطاطي للعلاقة؛ تنتقل الحركة إلى الشاسيه | تحميل العلاقات والكراسي المطاطية باليد وفحص الحركة الحرة؛ الضغط على الأنبوب باليد وملاحظة مرونة ارتداده |
| ترهل أنبوب العادم واقترابه من الأرض، وصوت ارتطام | انكسار حامل تثبيت العلاقة أو انزلاق المشبك وخروج الأنبوب من موضعه | مقارنة عدد العلاقات ومواضعها على طول الخط بترتيب OE؛ قياس الخلوص بين الأنبوب والشاسيه |
| زيادة غير مبررة في استهلاك الوقود، وفقدان قوة السحب | انحراف في الضغط العكسي للعادم أو تفعيل تقييد عزم الدوران | قراءة الضغط العكسي وحالة خفض القدرة بجهاز التشخيص؛ إخضاع الخط لاختبار التسرب |

## تحديد موضع التسرب باختبار الدخان

أكثر الطرق موثوقية للكشف عن تسربات مشبك العادم وأنبوب التوصيل هي اختبار الدخان المنخفض الضغط. إذ يغلق الخط مؤقتًا من نقطة مناسبة، ويضخ فيه دخان بضغط منخفض ومضبوط، وتراقب الوصلات تحت ضوء مصباح يدوي. وتكشف هذه الطريقة التسربات الصغيرة التي لا تميزها الأذن لكنها تكفي لإفساد قراءة الحساسات. ويجب إجراء العملية وفق إجراءات الخدمة حتمًا، حتى لا يتجاوز الضغط الحد الذي تحدده الشركة المصنعة ولا تتضرر وحدة المعالجة اللاحقة.

## الاستماع على البارد والساخن والفحص باليد

أرخص طريقة لتشخيص مشبك العادم وأنبوب التوصيل هي الاستماع إلى المركبة وهي باردة. فالمعدن البارد يكون منكمشًا، ولذلك يكون التسرب في أوضح حالاته، ومع إحماء المحرك يغلق التمدد الفجوة جزئيًا فيخف الصوت. وهذا السلوك وحده مؤشر قوي على تسرب مصدره المشبك أو الحشية. وبعد أن يبرد المحرك تمامًا تمسك الوصلات باليد وتحرك بقوة خفيفة، فالوصلة التي تتحرك أو فيها خلوص مشتبه بها مباشرة. ولا يجرى الفحص باليد على خط ساخن أبدًا.

### التحقق المتقاطع باستخدام بيانات التشخيص

في المشكلات التي مصدرها مشبك العادم وأنبوب التوصيل يكون رمز العطل مضللًا في الغالب، إذ يشير الرمز إلى الحساس بينما العيب ميكانيكي. والنهج الصحيح هو التحقق المتقاطع من خلال البيانات الحية: تقرأ معًا قيم NOx قبل SCR وبعده، وفروق حرارة EGT، وفرق الضغط في فلتر DPF. فإذا وجد بين قيم الحساسات تناقض لا يمكن تفسيره فيزيائيًا (مثل NOx أقل من المتوقع وEGT منخفضة تحت حمل عالٍ)، فيجب التشكيك في إحكام الخط ميكانيكيًا قبل استبدال الحساس.

بعض الأعراض مثل الترهل وصوت الارتطام والاهتزاز لا يكون مصدرها الأنبوب، بل حوامل التثبيت التي تحمل الخط على الشاسيه؛ وقد جمعنا أنواع حوامل التثبيت ومنطق تركيبها ونقاط صيانتها في دليل أعطال حامل تثبيت الشاسيه واستبداله وصيانته.

## قراءات إضافية

للاطلاع على ملخص فني مبسط لهذا الموضوع، راجع المقالة المرجعية على ويكيبيديا. وتحقق دائمًا من القيم والإجراءات المحددة بالرجوع إلى بيانات الخدمة الصادرة عن الشركة المصنعة للمركبة.

## كيف تستبدل مشبك العادم وأنبوب التوصيل؟ خطوة بخطوة

لا يعد استبدال مشبك العادم وأنبوب التوصيل عملية صعبة إذا نفذ بالترتيب الصحيح، لكن معظم الأعمال تطول في هذه المرحلة بسبب المسامير الملولبة الطرفين الصدئة والمشابك العالقة والتركيب المشدود. وقد صمم الترتيب التالي بحيث لا يتراكم الإجهاد في الخط من جديد.

يبقى خط العادم بعد التشغيل في حرارة مرتفعة لفترة طويلة، وينطوي على خطر حروق جسيم. تأكد من أن المحرك قد برد تمامًا قبل بدء العمل. استخدم قفازات مقاومة للحرارة ونظارات واقية وكمامة غبار (للوقاية من السناج وألياف العزل المتآكلة بالصدأ). ثبت المركبة على أرض مستوية، وضع مصدات العجلات، واستخدم منصة رفع أو حوامل دعم، ولا تدخل تحت المركبة معتمدًا على الرافعة الهيدروليكية. افصل المفتاح الرئيسي للبطارية، وإذا كنت ستفك وحدة DPF/SCR فافصل كابلات الحساسات دون شدها.

1. **التحضير وتسجيل التشخيص:** ثبت المركبة بأمان، واقرأ رموز الأعطال وسجلها، وحدد نقطة التسرب بوضوح قبل الاستبدال. وافحص الخط بالكامل حتى لا تستبدل قطعة واحدة ثم تعود بالمشكلة نفسها.
2. **فصل الحساسات والكابلات:** افصل بعناية حساسات EGT وNOx وخراطيم فرق الضغط في المنطقة التي ستفكها. افتح الموصلات من لسان القفل، ولا تجبرها بشد الكابل؛ واحم الحساسات من الاتساخ، ووثق ترتيب الفك بالصور.
3. **رش مزيل الصدأ والانتظار:** رش مزيل الصدأ على مسامير المشابك الملولبة والمسامير الملولبة الطرفين في الشفاه والصواميل، وانتظر 20-15 دقيقة على الأقل. فتخطي هذه الخطوة هو السبب الرئيسي لأكثر حالات انكسار المسامير الملولبة الطرفين شيوعًا في الميدان.
4. **دعم الخط:** قبل الفك ادعم الأنبوب وكاتم الصوت من الأسفل برافعة أو حامل دعم. فالخط غير المدعوم قد يسقط بوزنه عند فك آخر مسمار ملولب، فيقطع العلاقات المجاورة والحساسات.
5. **فك وصلات المشابك والشفاه:** أرخ المسامير الملولبة تدريجيًا وبترتيب متقابل (متقاطع). لا تجبر الشريط في مشابك المقطع V العالقة، واقطعها عند الحاجة واستبدلها بأخرى جديدة. أما المشابك بمسمار ملولب على شكل U فتعد مشوهة بطبيعة الحال، ولا يعاد استخدام ما يفك منها.
6. **إخراج القطعة القديمة ومقارنتها:** أخرج أنبوب التوصيل القديم، وضعه بجانب القطعة الجديدة لمقارنة الطول الكلي والقطر الخارجي وشكل الطرف وتوزيع ثقوب الشفة واتجاه الزاوية. فحتى مقاس واحد غير مطابق يضطرك إلى إجبار التركيب ويؤدي إلى تلف القطعة مبكرًا.

7 **تنظيف الأسطح:** نظف ميكانيكيًا بقايا الحشية القديمة والسناج والصدأ من أسطح ارتكاز الشفة والأنبوب. استخدم مكشطة مناسبة لا تخدش السطح، ولا تنس أن الخدوش العميقة تسبب تسربًا متبقيًا. وجدد المسامير الملولبة الطرفين المكسورة في هذه المرحلة.

8 **تركيب الحشيات والمشابك الجديدة:** ركب دائمًا حشية ومشبكًا جديدين، وصواميل ذاتية القفل جديدة إن وجدت. ثبت الحشية في موضعها، ومرر المشبك وهو مرتخٍ. وعند الحاجة استخدم فقط معجون التركيب المقاوم للحرارة العالية الذي تسمح به الشركة المصنعة، في المنطقة المحددة وبطبقة رقيقة.

9 **التركيب المرتخي والمحاذاة:** ركب جميع الوصلات أولًا باليد وهي مرتخية. ضع الخط على علاقاته، وتحقق من أن الخلوص بين الأنبوب وكل من الشاسيه وخزان الهواء وحزمة الأسلاك وخط الوقود يطابق المسافة التي تحددها الشركة المصنعة. ولا تجبر الأنبوب المرن على الدخول في موضعه بالشد أو الثني إطلاقًا.

10 **الشد التدريجي بالعزم:** بعد التأكد من المحاذاة ابدأ الشد من جهة المحرك وتقدم نحو الخلف. شد تدريجيًا بمفتاح عزم معاير (ويوصى بمتابعة معايرة أدوات العزم وفق ISO 6789)، وبترتيب متقاطع حتى القيمة التي تحددها الشركة المصنعة. وثبت حوامل تثبيت العلاقات في النهاية.

11 **الاختبار وفحص التسرب ومسح الرموز:** ركب الحساسات، وشغل المركبة، واستمع في سرعة الخمول لرصد أي تسرب. ثم أوصل المحرك إلى حرارة التشغيل وافحص مرة أخرى. امسح رموز الأعطال، وتحقق بعد قيادة تجريبية قصيرة من عدم عودة الرموز ومن اتساق بيانات الحساسات الحية. ومن الممارسات الجيدة إعادة فحص عزم الربط بعد أن يبرد الخط.

## ما الأخطاء الشائعة عند استبدال مشبك العادم وأنبوب التوصيل؟

لا تقع معظم الأخطاء في استبدال مشبك العادم وأنبوب التوصيل أثناء التركيب نفسه، بل في منطق التركيب. فحتى لو بدت القطعة مركبة بشكل صحيح، فإن الإجهاد المتراكم في الخط يعود بعد بضعة آلاف من الكيلومترات على هيئة شق جديد في النقطة نفسها.

لا تجبر المحاذاة عند تركيب أنبوب التوصيل المرن بشد الخط أو تدويره أو ثنيه. فالجسم الملفوف مصمم لامتصاص الاهتزاز، لا لتحمل إجهاد دائم. والشد المستمر الناتج عن التركيب يؤدي إلى انفكاك الشبكة المضفرة وإلى كلال خط اللحام خلال فترة قصيرة. والخط الذي لا تستقيم محاذاته علامة على قطعة خاطئة أو على حامل تثبيت علاقة أصابه الكلال.
لا تعد استخدام المشابك والحشيات والصواميل الذاتية القفل المفكوكة. فالمشابك بمسمار ملولب على شكل U تشوه الأنبوب تشويهًا دائمًا، وحشيات الجرافيت تتشكل مع أول شد ولا تعطي الإحكام نفسه في الاستخدام الثاني. وكذلك فإن ملء مسمار ملولب الطرفين مكسور باللحام ثم استخدامه ليس حلًا موثوقًا في المنطقة الساخنة.

- **استبدال القطعة دون التحقق من مصدر التسرب:** لا يأتي الصوت دائمًا من موضع التسرب، والاستبدال الذي يجرى دون اختبار الدخان ينقل المشكلة في أغلب الأحيان ولا يحلها.
- **عدم استخدام مفتاح العزم:** يؤدي نهج «شددته باليد وسيصمد» إلى خطأ في اتجاهين في خط العادم. فالشد الناقص يترك تسربًا، والشد الزائد يشوه الشريط ويسحق الأنبوب ويعطل المشبك بشكل دائم.
- **تجاهل ترتيب الشد:** شد الوصلات بالكامل واحدة تلو الأخرى يلوي الخط. والطريقة الصحيحة هي تركيب جميع الوصلات مرتخية، ثم الشد تدريجيًا وبترتيب متقاطع بعد التأكد من المحاذاة.
- **إهمال العلاقات والكراسي المطاطية:** الكرسي المطاطي المقطوع في العلاقة هو أكثر الأسباب الخفية شيوعًا لقصر العمر التصميمي للأنبوب المرن. لذا يجب فحص جميع العلاقات وعناصرها عند تركيب أنبوب جديد.
- **فك الحساسات بعنف:** إن فك حساس EGT أو NOx صدئ بالقوة يتلف اللولب الموجود على الأنبوب تلفًا دائمًا. واستخدام مزيل الصدأ والمفتاح الصحيح أرخص من استبدال الأنبوب لاحقًا.
- **استخدام معجون إحكام غير مناسب:** السيليكون المتعدد الأغراض، أو المعجون الموضوع في منطقة غير مسموح بها، يحترق ويتساقط، وقد يلوث سطح فلتر DPF والمحفز. ولا يعتد إلا بالمنتج والمنطقة اللذين تحددهما الشركة المصنعة.

- **الاكتفاء بالمقاس وإغفال التطبيق:** الأنبوب المطابق في القطر الخارجي ليس القطعة الصحيحة إذا اختلف شكل طرفه أو توزيع ثقوب شفته. ويجب التحقق عبر رمز المحرك/الشاسيه والرقم المرجعي OE.
- **إنهاء العمل دون تركيب الدروع الحرارية:** إذا لم يعد تركيب الدرع الحراري وقطع العزل المفكوكة، تعرض خط الوقود وحزمة الأسلاك وخراطيم الهواء لحرارة مفرطة.

## القيم الفنية ونقاط الفحص لمشبك العادم وأنبوب التوصيل

القيم الواردة أدناه لمشبك العادم وأنبوب التوصيل نطاقات مرجعية عامة شائعة في تطبيقات المركبات التجارية الثقيلة. أما القيم الدقيقة الخاصة بكل تطبيق فتختلف بحسب رمز المحرك والشاسيه.

القيم الفنية لمشبك العادم وأنبوب التوصيل (مرجع عام؛ تؤخذ القيمة الدقيقة من دليل خدمة OE)

| المعامل | النطاق المعتاد / الوحدة | الشرح |
|---|---|---|
| حرارة غاز العادم المستمرة | 450-650 °C | نطاق التشغيل المعتاد عند مخرج الشاحن التوربيني وقبل وحدة المعالجة اللاحقة |
| الحرارة القصوى (التجديد النشط) | في حدود 600-750 °C | ارتفاع قصير المدة أثناء تجديد فلتر DPF؛ يحدد اختيار المادة |
| حد الضغط العكسي للعادم | عادة 20-70 كيلوباسكال (0.2-0.7 bar) | يختلف بحسب الشركة المصنعة؛ تجاوز الحد يؤدي إلى فقدان القدرة وظهور رمز عطل |
| القطر الخارجي للأنبوب (المركبات التجارية الثقيلة) | نحو 50-152 مم (2-6 بوصات) | يختلف بحسب التطبيق؛ يجب أن يطابق قطر المشبك قطر الأنبوب تمامًا |
| قدرة الحركة المحورية للأنبوب المرن | عادة ±3-8 مم | نطاق الحركة التصميمي؛ إذا تم تجاوزه باستمرار أصاب الكلال الشبكة المضفرة وخط اللحام |
| تفاوت الانحراف الزاوي | عادة ±2-5° | تركيب الأنبوب بزاوية دائمة يقصر عمره بشكل ملحوظ |
| درجة المادة | درجات الفولاذ المقاوم للصدأ ضمن EN 10088 | تشيع الدرجات الأوستنيتية/المثبتة في المنطقة الساخنة، والدرجات الفريتية في المنطقة الخلفية |
| سماكة شريط المشبك | عادة 1.0-1.5 مم | الأشرطة الرقيقة المخصصة لسيارات الركوب لا تكفي في تطبيقات المركبات التجارية الثقيلة |
| فئة مقاومة المسمار الملولب للمشبك | عادة 8.8 أو فولاذ مقاوم للصدأ A2-70 | مهمة لمقاومة الارتخاء تحت تأثير الحرارة |
| عمر الخدمة المتوقع | نحو 200.000-600.000 كم أو 3-6 سنوات | يختلف بحسب نمط الاستخدام وحالة الطرق وحمل الملح/التآكل |

نطاقات عزم الربط المعتادة لعناصر ربط خط العادم (Nm؛ مرجع عام فقط، والمعتمد هو قيمة OE)

| عنصر الربط | نطاق عزم الربط المعتاد | ملاحظة |
|---|---|---|
| مشبك بمقطع V (V-band)، M8 | نحو 10-20 Nm | يشد تدريجيًا؛ العزم الزائد يفتح الشريط ويتلف المشبك بشكل دائم |
| مشبك بمقطع V، M10 | نحو 18-30 Nm | شائع في وصلات الشاحن التوربيني ووحدة المعالجة اللاحقة |
| مشبك جلبة عريض الشريط | نحو 12-25 Nm | الهدف ضغط محيطي دون سحق الأنبوب |
| مشبك بمسمار ملولب على شكل U، M10 | نحو 35-55 Nm | للاستخدام مرة واحدة؛ لا يعاد تركيب المفكوك منه |
| مشبك بمسمار ملولب على شكل U، M12 | نحو 55-85 Nm | يستخدم في خطوط المركبات التجارية الثقيلة ذات الأقطار الكبيرة |

| عنصر الربط | نطاق عزم الربط المعتاد | ملاحظة |
|---|---|---|
| صامولة الشفة / مسمار ملولب الطرفين، M10 | نحو 35-60 Nm | يشد تدريجيًا وبترتيب متقاطع |
| المسمار الملولب لحامل تثبيت العلاقة، M8-M10 | نحو 20-45 Nm | يشد في النهاية بعد محاذاة الخط |

لا معنى لقيم العزم إلا مع مفتاح عزم معاير. ولأن وصلات العادم تعمل في نطاق عزم منخفض، فإن القياس عند الطرف الأدنى لمفتاح عالي السعة يعطي انحرافًا؛ لذا اختر مفتاحًا بمدى مناسب. ولا تنجز الشد دفعة واحدة، بل على مراحل: جولة أولى عند نحو نصف القيمة المستهدفة، ثم جولة ثانية عند القيمة الكاملة.

تكفي النقاط التالية للفحص السريع في الميدان:

- هل يوجد في الشبكة المضفرة للأنبوب المرن انفكاك أو أسلاك مقطوعة أو تخصر أو أثر احتكاك لامع؟
- هل يظهر في شريط المشبك شق أو تشوه دائم، أو تلف في أسنان لولب المسمار؟
- هل تكونت عند مواضع الوصلات ترسبات سخام سوداء جافة أو آثار تسرب مائلة إلى البياض؟
- هل تحتفظ الكراسي المطاطية للعلاقات بمرونتها، وهل توجد شقوق في حوامل التثبيت؟
- هل الخلوص كافٍ بين الأنبوب وكل من الشاسيه وحزمة الأسلاك وخط الوقود والنابض الهوائي؟
- هل الدروع الحرارية كاملة وثابتة، وهل تصدر صوت اهتزاز؟
- هل يوجد في جهاز التشخيص رمز مسجل أو معلق يخص العادم أو الانبعاثات؟

## كيف تتم صيانة مشبك العادم وأنبوب التوصيل وإطالة عمرهما؟

لا يرد مشبك العادم وأنبوب التوصيل بندًا مستقلًا في قائمة الصيانة، ولذلك لا يلتفت إليهما عادة حتى يتعطلا. غير أن فحصًا يستغرق بضع دقائق أثناء الصيانة الدورية يطيل عمر القطعة بشكل ملحوظ، ويحول أيضًا دون أعطال أغلى في DPF وSCR والحساسات. وهناك ثلاثة عوامل رئيسية تحدد العمر: جودة التركيب، وبقاء الخط حرًا ميكانيكيًا، وحمل التآكل.

- **افحص الخط بالنظر في كل صيانة دورية.** فعند تغيير الزيت والفلتر تكون المركبة على منصة الرفع في كل الأحوال، ومسح الخط بمصباح يدوي لا يستغرق سوى بضع دقائق ويكشف الشقوق مبكرًا.
- **قيّم الكراسي المطاطية للعلاقات كمنظومة لا كقطع منفردة.** فكرسي مطاطي واحد أصابه الكلال ينقل حمل الاهتزاز كله إلى الأنبوب المرن. لذا اعتبر الكراسي المطاطية جزءًا من صيانة خط العادم.
- **لا تتجاهل كلال الكراسي المطاطية للمحرك.** فالمحرك الذي يتحرك أكثر من اللازم يشغل كل عنصر مرن في الخط فوق حده التصميمي.
- **افحص التآكل بعد انتهاء الشتاء.** فملح الطرق يسبب تآكلًا سريعًا في عناصر الربط غير المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ وفي مسامير المشابك الملولبة؛ وإجراء جولة فحص في الربيع عادة جيدة.
- **راقب سلوك التجديد.** فعمليات التجديد المتكررة وغير المكتملة تبقي الخط في حرارة مرتفعة مدة أطول من المعتاد، وهذا يسرع تقادم الحشية والأنبوب المرن معًا.
- **تحقق من عزم ربط القطعة الجديدة في أول صيانة.** فالحشية الجديدة تستقر قليلًا خلال الدورات الحرارية الأولى، وفحص العزم في أول صيانة دورية يمنع الارتخاء المبكر.
- **افحص الخط عند تركيب الهياكل العلوية والمعدات.** فحوامل التثبيت التي تضاف بعد تركيب صندوق قلاب أو رافعة تحميل أو صهريج قد تضغط على الخط؛ لذا يجب فحص الخلوص بعد العملية.
- **تخلّ عن عادة تأجيل معالجة التسرب.** فالتسرب الصغير يحمل السناج إلى الخارج فيؤدي إلى تآكل السطح المجاور أيضًا، ويتحول مع الوقت من استبدال قطعة واحدة إلى استبدال قسم كامل.

عند تطبيق هذه الفحوصات بشكل صحيح، لا تحتاج مجموعة وصلات العادم إلى الاستبدال إلا بضع مرات طوال عمر المركبة. وفي المقابل قد يكون المشبك المهمل الحلقة الأولى في سلسلة أغلى بكثير، تبدأ بقطعة زهيدة الثمن وتمتد إلى تقييد عزم

الدوران وتعذر إكمال التجديد وتلف وحدة المعالجة اللاحقة. والنهج الأكثر اقتصادًا في خط العادم هو اكتشاف التسرب وهو صغير، وإغلاقه بالقطعة الصحيحة وعزم الربط الصحيح.

**التطبيقات والتوافق:** كتالوج توافق المركبات · كتالوج توافق المحركات

هذه الوثيقة لأغراض إعلامية فقط؛ وفي التطبيق العملي يُعتمد دليل الخدمة الحالي وتعليمات السلامة الصادرة عن الشركة المصنعة للمركبة. القيم الواردة مراجع عامة للأنظمة الشائعة في المركبات التجارية الثقيلة؛ وللقيم الخاصة بكل طراز يُرجى الرجوع إلى وثيقة الخدمة الأصلية (OE) المعنية. © VADEN Otomotiv San. Tic. A.Ş. · vadenoriginal.com