

VIA INNOVATIVA CONECTORA PARA MOTORES DE ALTO DESEMPEÑO

Nota preliminar

El presente ejercicio ha sido inspirado por un caso de estudio relacionado a una actividad desarrollada por Gaetano Cascini y Francesco Saverio Frillici a favor de SCAM srl (Italia) durante el verano de 2006. Por ende, han sido omitidos algunos detalles.

Introducción

Una barra conectora para un motor de cuatro tiempo está básicamente constituido por tres subsistemas (figura 1): una biela con un pequeño “ojo” en su extremo más pequeño donde se inserta el pasador del pistón, el “sombrero”, una parte semicircular que, junto al extremo mayor de la biela, constituyen el “ojo grande”, en el que la biela se monta al cigüeñal; dos pernos que fijan el sombrero a la biela.

Una barra conectora está sujeta a cargas a la fatiga, debido a cargas de inercia alternantes y presión de gas en la cámara de combustión. Como consecuencia, los pernos deben soportar un esfuerzo normal altamente variable, y en motores de alto rendimiento (por ejemplo, Formula 1) estos constituyen uno de los puntos débiles del sistema.

Durante la última década se han logrado mejoras relevantes, gracias a aleaciones de acero y titanio especiales, diseñados para soportar cargas a la fatiga con gran esfuerzo y poca fragilidad. Dentro de esta tendencia ha crecido un nicho de mercado de pernos de acero especiales para condiciones de cargas extremas, y alrededor de 2-3 productores principales comparten el mercado mundial. Como consecuencia, estas compañías definen arbitrariamente el precio de los pernos.

Una pequeña empresa competitiva que produce ejes y barras conectoras para motores de carrera claramente no puede firmar acuerdos de provisión exclusivos con los productores de pernos mencionados arriba, debido a sus volúmenes de producción reducidos. Además, los competidores más grandes tienen mayores posibilidades de firmar acuerdos de provisión exclusivos. Como consecuencia, existe la necesidad de cambiar radicalmente la estructura de una barra conectora.

Vale la pena mencionar que debido a restricciones externas, no es posible construir una barra conectora de una pieza, montándolo en un eje de múltiples partes. Es también evidente que, debido al destino especial de la barra conectora, reducir peso es el requerimiento más importante a satisfacer.

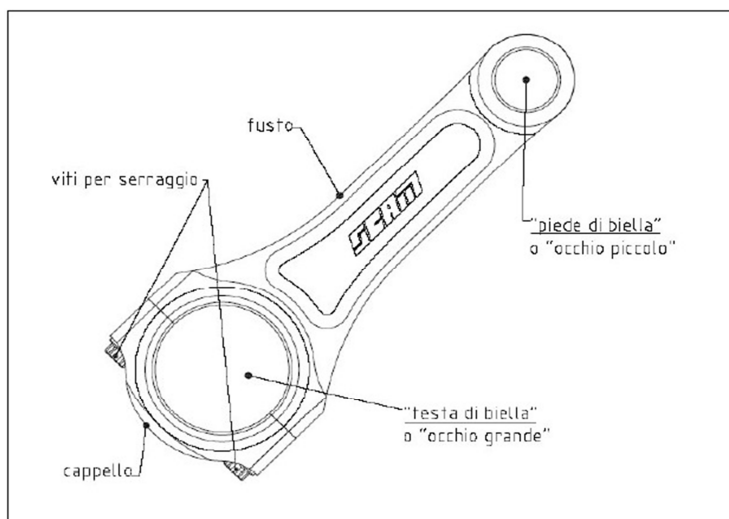


Figura 1 – Barra conectora para un motor de cuatro tiempos

Dado que el sistema es muy simple, un análisis funcional no provee una perspectiva clara de las decisiones de diseño detrás de cada detalle. Sin embargo, tomando en cuenta los parámetros de diseño, se pueden identificar varias contradicciones. Para cada una de ellas, se debe llevar a cabo un análisis ARIZ paso a paso, según se indica:

ARIZ-85C, paso 1.1

- CT-1: si la barra conectora se equipa con pernos pequeños y ligeros que unan la biela y el sombrero de la barra conectora, entonces los pernos se someten a esfuerzos de fatiga que superar su resistencia máxima
- CT-2: si la barra conectora se equipa con pernos capaces de soportar las cargas a la fatiga sobre la barra conectora, entonces su peso excede un valor máximo aceptable.

ARIZ-85C, paso 1.2

La contradicción técnica involucra los siguientes pares conflictivos:

- Herramienta: el perno (los pernos)
- Producto: la barra conectora

ARIZ-85C, paso 1.3

En la Figura 2 se representan los conflictos CT-1 y CT-2, mediante la representación del peso excesivo de los pernos como un daño propio, a pesar de que debería representarse más correctamente como una sobrecarga de inercia (perjuicio) sobre todo el sistema.

Perno Barra Conectora

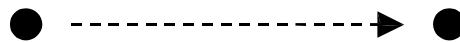


Figura 2.a – ARIZ-85C – Paso 1.3: CT-1

Perno Barra Conectora

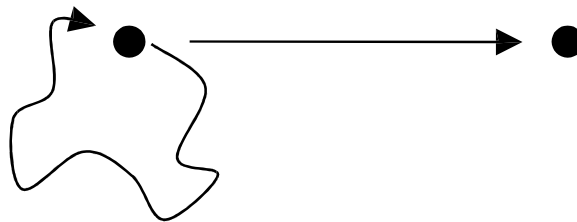


Figura 2.b – ARIZ-85C – Paso 1.3: CT-2

ARIZ-85C, paso 1.4

Se escogió CT-1 como la contradicción sobre la que se trabajará, dado que se encuentra más cerca de la idealidad (sin peso).

ARIZ-85C, paso 1.5

La intensificación del conflicto lleva a la eliminación del perno: si la barra conectora se equipa con el perno más pequeño/ligero, es decir, no hay perno en lo absoluto uniendo la biela con el sombrero, entonces los pernos nos serán capaces de soportar ninguna carga.

ARIZ-85C, paso 1.5

Por lo tanto, el modelo de problema se puede resumir como sigue:

- el par conflictivo está constituido por el perno y la barra conectora;
- el perno ausente no suma peso al sistema, pero no es capaz de soportar ninguna carga;
- es necesario encontrar un componente/campo/propiedad X, que soporte las cargas sobre la barra conectora, sin sumar peso a las barras conectoras montadas.

ARIZ-85C, paso 1.7

El problema descrito arriba puede ser abordado por medio de Estándares Inventivos.

De hecho, en la forma intensificada del conflicto, tenemos un modelo S-C incompleto con sólo una sustancia (la barra conectora). Por lo tanto, se debe aplicar el estándar 1-1-1.

Debido a la naturaleza del sistema y la imposibilidad de cambiar radicalmente su estructura, se debería mantener una interacción de Campo Mecánica.

De hecho, la oportunidad de sustituir los pernos mediante la fijación del sombrero con la biela (por ejemplo, soldadura, acoplamiento con interferencia) fue considerada apropiadamente, pero descartada finalmente debido a otros requerimientos de sistema.

ARIZ-85C, paso 2.1

La zona operacional en la que surge el conflicto está constituida por el “ojo grande”, es decir, la porción de la barra conectora destinada a ser conectada con el cigüeñal.

ARIZ-85C, paso 2.2

Los intervalos en los que la barra conectora está sujeta a cargas de tracción ($T1'$), el tiempo en el que está sujeto a cargas de compresión ($T1''$), y el tiempo en el que la barra conectora está montada sobre el eje ($T2$) constituyen el tiempo operacional.

ARIZ-85C, paso 2.3

Se pueden identificar los recursos internos principales:

- Recursos de sistema: biela, sombrero, pernos con sus formas, posición/orientación geométrica;
- Recursos de subsistema: el ojo pequeño, la cabeza del perno, el hilo del perno;
- Recursos de supersistema: el pasador del pistón, el pistón, el cigüeñal.

ARIZ-85C, paso 3.1

RFI-1: Un componente X, sin complicar el sistema, y sin causar efectos secundarios perjudiciales (principalmente exceder el peso máximo) una sombrero y biela de una barra conectora bajo tracción ($T1'$) y compresión ($T1''$), formando una ojo cerrado estable a ser conectada con el cigüeñal, y preserva la habilidad de la barra conectora de transmitir fuerzas.

ARIZ-85C, paso 3.2

Luego, el Resulto Final Ideal puede ser consecuentemente intensificado, mediante evitar la introducción de cualquier sustancia/campo nuevo y aplicar al componente X los recursos identificados en el paso 2.3, primordialmente, los recursos de la herramienta en sí.

El RFI se puede reformular según:

- el tamaño/forma/posición del perno, sin superar el peso admisible, una biela y sombrero de una barra conectora bajo cargas de tracción ($T1'$) y compresión ($T1''$), formando un ojo cerrado estable a conectar con el cigüeñal, y preserva la habilidad de la barra conectora de transmitir fuerzas;
- la biela/el sombrero está formado de manera que permite la adopción de un perno ligero capaz de unir biela y sombrero de una barra conectora bajo cargas de tracción ($T1'$) y de compresión ($T1''$), mediante la formación de un ojo cerrado a conectar con el cigüeñal, y preservando la habilidad de la barra de la conectora de transmitir fuerzas.

ARIZ-85C, paso 3.3

A nivel macro, las contradicciones físicas se pueden expresar mediante el análisis del valor de estado preferente de cada parámetro físico de los recursos listados arriba.

Dentro de otros, se seleccionaron las siguientes contradicciones físicas:

- El perno debería posicionarse ortogonal al eje de la barra conectora durante T1' y T1'', con el fin de evitar ser sometido a cargas a la fatiga, y debería posicionarse paralelo al eje de la barra conectora, con el fin de fijar la biela y el sombrero de la barra conectora y transmitir sus fuerzas de manera apropiada.

ARIZ-85C, paso 3.4

- Durante T1' y T1'' debería haber una fuerza transmitiendo partículas (en este caso, vale la pena considerar partículas de un campo, no sólo una sustancia), tal que un perno ortogonal al eje de la barra conectora fije el sombrero a la biela de la barra conectora, y no deberían haber partículas, para evitar cargas a la fatiga sobre el perno mismo.

ARIZ-85C, paso 3.5

El ojo grande de la barra conectora debería contener fuerza que transmita partículas, de manera que el perno ortogonal a su eje fije el sombrero a la biela de la barra conectora sin la necesidad de aplicar cargas a la fatiga sobre el perno.

ARIZ-85C, paso 3.6

La última formación de la contradicción física gatilla una solución conceptual incluso sin aplicar un principio inventivo, solamente con traducir el RFI-2 a una estructura. La barra conectora es rediseñada, de modo que las superficies coincidentes del sombrero y la biela sean paralelas a su eje; en consecuencia, un perno ortogonal a su eje los fija y debido a su ubicación ortogonal a la dirección de la fuerza, éste no se somete a cargas a la fatiga. Por ende, se pueden adoptar aleaciones de acero tradicionales, reduciendo incluso el tamaño del mismo perno.

La solución se encuentra casi representada, pero aún se requiere concebir una definición más clara de la manera de transmitir fuerzas entre el ojo grande y el ojo pequeño.

Con el fin de someter el perno únicamente a carga estática normal, evitando cargas cortantes (¡tanto estáticas y alternantes!), debemos introducir algo nuevo en el sistema.

Un diseñador mecánico visualizará rápidamente numerosas estructuras posibles que cumplan esta tarea. En nuestro caso, se propuso la introducción de una bisagra, según se ilustra en la figura 3.

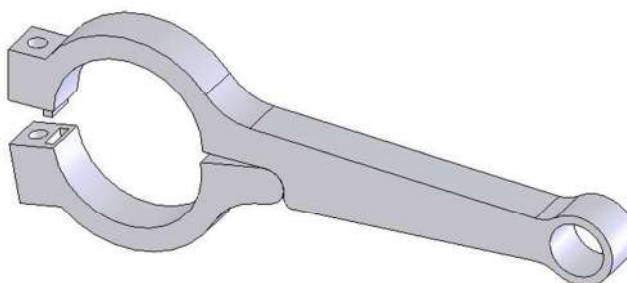


Figura 3 – Solución inicial: el perno fija el ojo grande a la barra conectora, pero no se encuentra sometido a cargas a la fatiga

De hecho, la introducción de una nueva sustancia (la bisagra) incrementa la complejidad del sistema. En otras palabras, la bisagra debe encontrarse, con el fin de asumir el rol de transmitir fuerzas entre el ojo grande y el resto de la barra conectora; pero no debería encontrarse, con el fin de reducir la complejidad del sistema.

Con la misma lógica adoptada en los pasos 3.1 y 3.2, en vez de introducir sustancias nuevas, se sugiere adoptar los recursos disponibles.

Dentro de los recursos disponibles identificados en el paso 2.3, se identifica el mismo pasador del pistón.

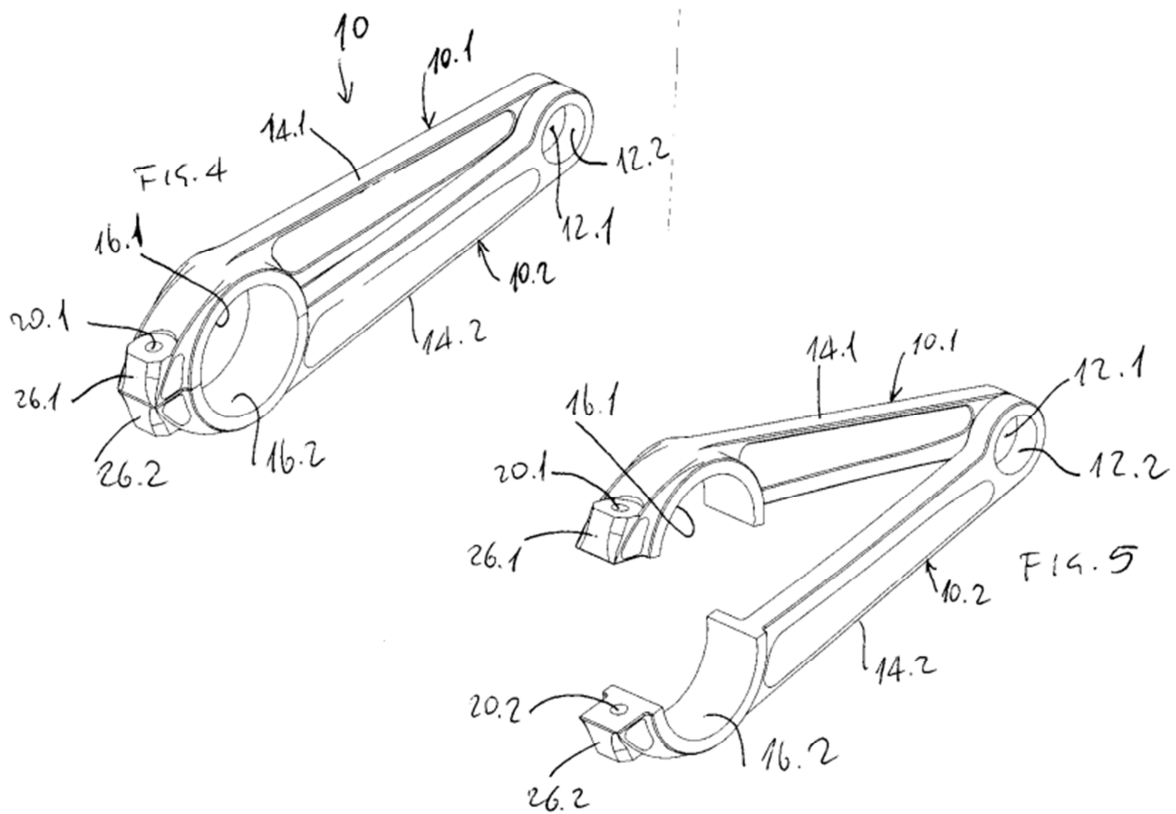


Figura 4 – solución evolucionada de acuerdo a un uso incrementado de los recursos disponibles: la barra conectora resultante es 12% más liviana que la original y sus pernos se someten fundamentalmente a cargas estáticas

Conclusiones

La solución final permitió el desarrollo de una nueva generación de barras conectoras para motores de carrera: con un proceso de ensamble ligeramente más complicado (sin duda, una desventaja en este campo específico), se alcanzó una ventaja doblemente relevante: la barra conectora es 12% más liviana que la original, gracias a la masa reducida de la biela; además, se puede adoptar el uso de pernos de aleación de acero tradicional, gracias a la ausencia de cargas a la fatiga.