

BIELLE INNOVANTE POUR MOTEURS HAUTE-PERFORMANCE

Remarque préliminaire

Le présent exercice s'inspire d'une étude de cas réalisée dans le cadre d'une activité menée par Gaetano Cascini et Francesco Saverio Frillici pour le compte de de SCAM srl (Italie) au cours de l'été 2006. C'est pourquoi certains détails ont été volontairement omis.

Introduction

Une bielle pour un moteur à 4 temps se compose de trois sous-systèmes (fig. 1) : la tige avec un petit « œil » à son extrémité la plus étroite et dans laquelle l'axe de piston est inséré ; le « chapeau », une pièce semi-circulaire qui constitue, avec l'extrémité la plus large de la tige, le « grand œil » permettant de fixer la bielle sur l'arbre ; et 2 vis qui fixent le chapeau sur la tige.

Une bielle est soumise à des charges de fatigue dues aux charges d'inertie alternatives et à la pression du gaz dans la chambre de combustion. Par conséquent, les vis doivent supporter une tension normale variable et constituent les points les plus faibles du système dans les moteurs haute-performance (par ex. dans une formule 1).

Au cours de la dernière décennie, d'importantes améliorations ont été obtenues grâce aux alliages spéciaux d'acier et de titane conçus pour supporter d'importantes charges de fatigue et obtenir une fragilité réduite. Encouragé par cette tendance, un marché de niche pour des vis en acier spécial destinées à des conditions de charge extrêmes s'est développé, et 2-3 producteurs se partagent le marché mondial. Par conséquent, ces entreprises peuvent définir les prix comme bon leur semble.

Une petite entreprise compétitive de production d'arbres et de bielles pour moteurs de course n'est évidemment pas capable de signer des accords d'exclusivité pour la fourniture de vis avec les entreprises mentionnées ci-dessus, notamment en raison des volumes réduits de production. En outre, les principaux concurrents ont davantage de chances de signer des accords d'exclusivité. Par conséquent, il est nécessaire de changer radicalement la structure de la bielle.

Il convient de mentionner qu'en raison de contraintes externes, il n'est pas possible de construire une bielle en une seule pièce et de la monter sur un arbre composé de plusieurs pièces. Il est également évident qu'en raison de la destination spéciale de la bielle, la réduction de son poids est la principale exigence que l'on cherche à satisfaire.

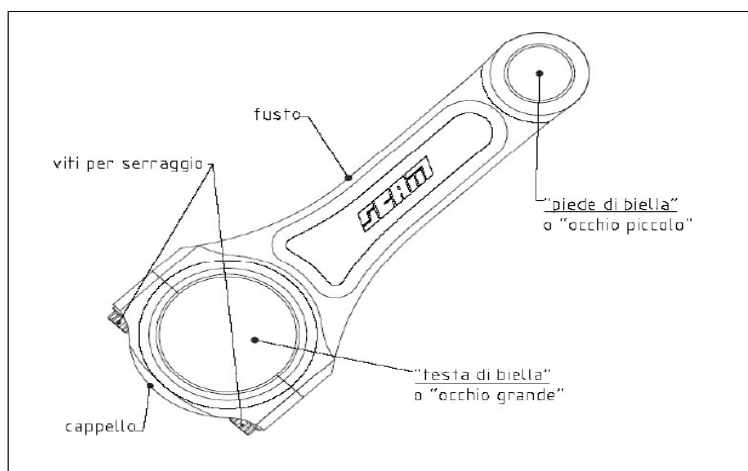


Fig. 1 – Bielle pour moteur à 4 temps.

Puisque le système est très simple, une analyse fonctionnelle n'offre pas de vue claire des choix de conception relatifs à chaque détail. Cependant, en observant les paramètres de conception, plusieurs contradictions peuvent être identifiées. Une analyse ARIZ étape après étape a été réalisée.

ARIZ-85C, étape 1.1

- CT-1 : si la bielle est équipée de petites vis / vis légères qui relient la tige et le chapeau de la bielle, alors les vis subissent une fatigue par tension dépasse leur force maximale.
- CT-2 : si la bielle est équipée de vis capables de supporter les fatigues par tension appliquées sur la bielle, alors leur poids dépasse la valeur maximale acceptable.

ARIZ-85C, étape 1.2

La contradiction technique ci-dessus implique la paire conflictuelle suivante :

- Outil : la (les) vis
- Produit : la bielle

ARIZ-85C, étape 1.3

La Fig. 2 montre les conflits CT-1 et CT-2 en représentant le poids excessif des vis comme une nuisance propre, même s'il devait plutôt être représenté comme une surcharge d'inertie (nuisance) sur le système dans son ensemble.



Fig. 2a – ARIZ-85C - Étape 1.3: TC1

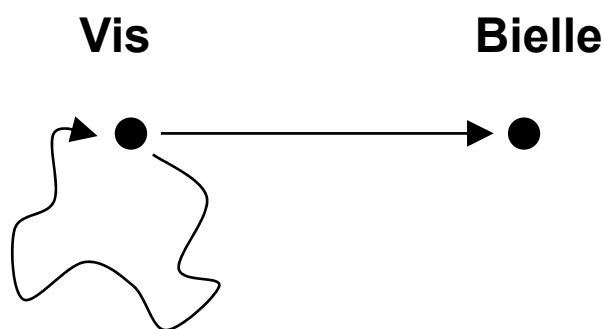


Fig. 2b – ARIZ-85C - Étape 1.3: TC2

ARIZ-85C, étape 1.4

La CT-1 a été choisie comme le côté de la contradiction sur lequel il faut agir car elle est plus proche de l'idéal (pas de poids).

ARIZ-85C, étape 1.5

L'intensification de ce conflit mène à l'élimination de la vis : si la bielle est équipée de la vis la

plus petite / la plus légère, c'est-à-dire pas de vis du tout pour relier la tige et le chapeau, alors les vis sont incapables de supporter une charge.

ARIZ-85C, étape 1.5

Le modèle du problème peut ainsi être résumé de la manière suivante :

- la paire conflictuelle se compose de la vis et de la bielle ;
- la vis absente n'ajoute pas de poids supplémentaire au système, mais est incapable de supporter une charge ;
- il est nécessaire de trouver un composant / champ / propriété X qui supporterait les charges qui s'appliquent sur la bielle, sans ajouter de poids à la bielle elle-même.

ARIZ-85C, étape 1.7

Le problème décrit ci-dessus peut, dans un premier temps, être abordé à l'aide des Standards Inventifs.

En effet, dans la forme intensifiée du conflit, nous avons un modèle Su-Field présentant une seule Substance (la bielle). Le Standard 1-1-1 doit donc être appliqué.

En raison de la nature même du système et de l'impossibilité de changer radicalement sa structure, une interaction de Champ Mécanique doit être conservée.

En effet, la possibilité de remplacer les vis par l'assemblage du chapeau et de la tige (par ex. par un procédé de soudure) a été considérée à juste titre, mais finalement rejetée en raison d'autres exigences du système.

ARIZ-85C, étape 2.1

L'Espace Opérationnel dans lequel le conflit apparaît comprend le « grand œil », c'est-à-dire la portion de la bielle destinée à être reliée à l'arbre.

ARIZ-85C, étape 2.2

Les moments où la bielle est soumise aux forces de traction ($T1'$), le moment où elle est soumise à des charges de compression ($T1''$) et le moment où la bielle est fixée sur l'arbre ($T2$) constituent le Temps Opérationnel.

ARIZ-85C, étape 2.3

Les principales ressources internes suivantes peuvent être identifiées :

- Ressources du Système : tige, chapeau, vis et leurs formes, position / orientation géométriques, matériel, etc. ;
- Ressources du Sous-système : le petit œil, tête de la vis, filetage de la vis ;
- Ressources du Super-Système : axe de piston, piston, arbre.

ARIZ-85C, étape 3.1

RFI-1 : un composant X, qui ne complique pas le système et ne cause pas d'effets secondaires nocifs (principalement poids maximum excessif), relie la tige et le chapeau soumis à des charges de traction ($T1'$) et de compression ($T1''$) en formant un œil fermé stable à fixer à l'arbre du moteur, et préserve la capacité de la bielle à transmettre les forces.

ARIZ-85C, étape 3.2

Ensuite, le Résultat Final Idéal peut être intensifié en évitant l'introduction de toute nouvelle substance ou nouveau champ, et en prenant pour composant X les ressources identifiées à l'étape 2.3, c'est-à-dire les ressources de l'outil elles-mêmes.

Ainsi, le RFI peut être formulé de la manière suivante :

- la taille / forme / position de la vis, sans dépasser le poids admis, relie la tige et le chapeau d'une bielle soumis à des charges de traction (T') et de compression (T''), en formant un œil fermé stable à fixer à l'arbre du moteur, et préservent la capacité de la bielle à transmettre les forces ;
- la tige / le chapeau sont conçus de manière à permettre d'adoption de vis légère(s) capables de relier la tige et le chapeau d'une bielle soumise à des forces de traction ($T1'$) et de compression ($T1''$), en formant un œil fermé stable à fixer à l'arbre du moteur, et à préserver la capacité de la bielle à transmettre les forces;

ARIZ-85C, étape 3.3

Au niveau macro, les contradictions physiques peuvent être exprimées en analysant l'état / la valeur préférés de chaque paramètre physique des ressources listées ci-dessus.

La contradiction physique suivante à été sélectionnée parmi toutes les contradictions physiques :

- la vis, pendant $T1'$ et $T1''$, doit être positionnée perpendiculairement à la bielle afin d'éviter d'être soumise aux charges de fatigue et doit être positionnelle parallèlement à l'axe de la bielle afin de relier la tige et le chapeau de la bielle, et de transmettre les forces correctement.

ARIZ-85C, étape 3.4

La contradiction physique au niveau micro peut être formulée de la manière suivante :

- pendant $T1'$ et $T1''$, il doit y avoir des particules de transmission de la force (dans ce cas, il est intéressant de considérer les particules d'un champ, et pas uniquement d'une substance) de manière qu'une vis perpendiculaire à l'axe de la bielle relie la tige et le chapeau, et il ne doit pas y avoir de particules de transmission de la force afin d'éviter les charges de fatigue sur la vis elle-même.

ARIZ-85C, étape 3.5

Le grand œil de la bielle doit comporter des particules de transmission de la force de manière qu'une vis perpendiculaire à son axe relie la tige et le chapeau de la bielle elle-même sans appliquer de charges de fatigue sur la vis.

ARIZ-85C, étape 3.6

La dernière formulation de la contradiction physique fait apparaître une solution conceptuelle sans même appliquer de principe inventif, simplement en traduisant le RFI-2 en une structure. La forme de la bielle est modifiée de manière que la surface de contact de la tige et du chapeau soit parallèle à son axe ; par conséquent, une vis perpendiculaire à l'axe de la bielle assemble la tige et le chapeau et, grâce à son positionnement perpendiculaire à la direction de la force, elle n'est pas soumise aux charges de fatigue. Les alliages traditionnels d'aciers peuvent donc être utilisés tout en réduisant la taille de la vis.

La solution est presque entièrement décrite, mais une définition plus claire de la manière avec laquelle les forces sont transmises entre le grand œil et le petit œil doit être donnée.

Nous devons introduire quelque chose de nouveau dans le système avec l'objectif de ne soumettre la vis qu'à une charge statique normale et d'éviter le cisaillement (à la fois statique et alternatif !).

Un ingénieur en mécanique visualisera rapidement de nombreuses structures possibles ca-

pables de remplir cette fonction. Dans notre cas, l'introduction d'une charnière – telle que représentée dans la figure 3 – a été proposée.

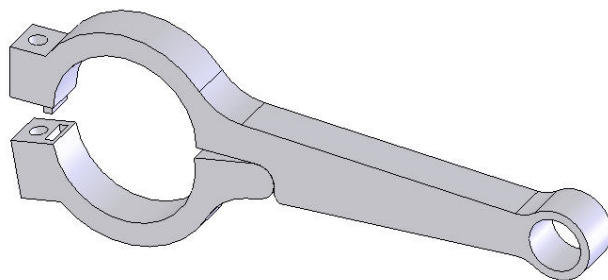


Fig. 3 – Solution initiale : la vis relie le grand œil à la bielle mais n'est pas soumise aux charges de fatigue.

En effet, l'introduction d'une nouvelle substance (la charnière) augmente la complexité du système.

En d'autres termes, la charnière doit être là afin d'assumer le rôle de la transmission des forces entre le grand œil et le reste de la bielle, mais ne doit pas être là afin de réduire la complexité du système.

Avec la même logique que celle suivie dans les étapes 3.1 et 3.2, on suggère d'utiliser des ressources disponibles au lieu d'introduire de nouvelles substances.

Parmi les ressources disponibles identifiées à l'étape 2.3, l'axe du piston peut être utilisé comme pivot de la charnière permettant aux deux parties de la bielle de pivoter lorsqu'elles sont montées sur l'arbre du moteur.

En guise de résultat, le premier design de la bielle est modifié de la manière suivante :

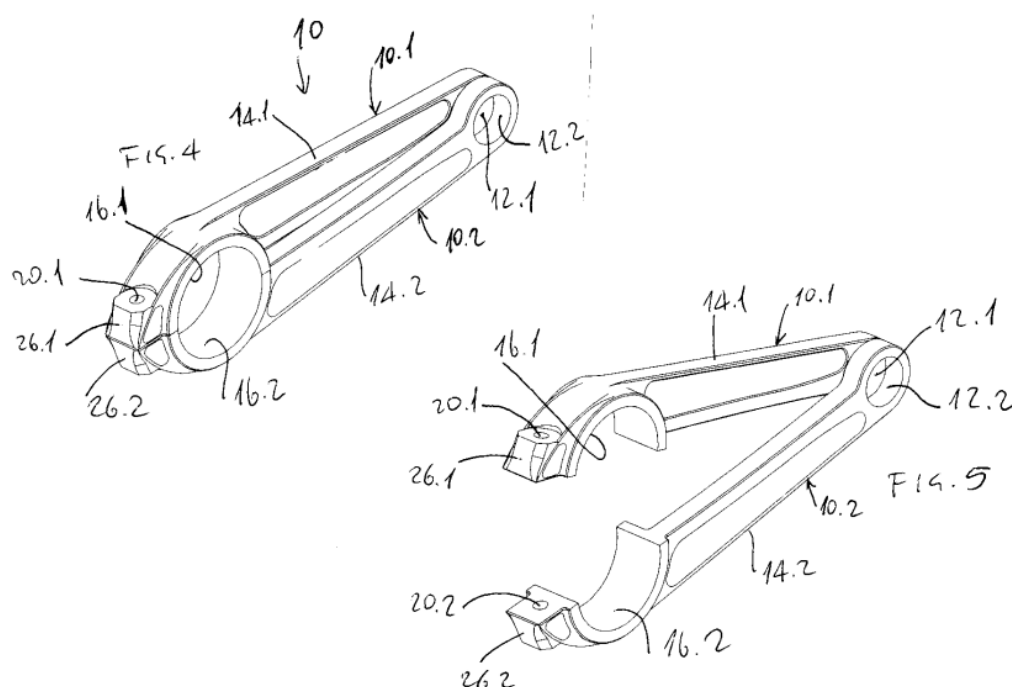


Fig. 4 – Solution développée grâce à une augmentation de l'utilisation des ressources disponibles. La bielle finale est 12% plus légère que la bielle d'origine et ses vis sont soumises aux charges statiques fondamentales au lieu d'être soumises aux charges alternatives de traction et de compression.

Conclusions

Les solutions finales ont permis le développement d'une nouvelle génération de bielles pour moteur de course : avec un processus d'assemblage légèrement plus compliqué (en effet, ce domaine particulier constitue un léger inconvénient) un double avantage a pu être atteint : la bielle est 12% plus légère que l'originale grâce à la masse réduite de la zone de fixation de la vis et, grâce à l'absence de charges de fatigue, une vis en acier traditionnel peut être utilisée au lieu d'une vis en alliage spécial.