

Benchmarking: an original Carraro bevel gear vs the corresponding non-original part

As is well known, one of the most sensitive areas for the reliability of an axle is the differential/bevel gear. Two bevel gears were compared: a Carraro original (calculated, tested, approved

and manufactured to the standard Carraro parameters) and a corresponding product found on the market.

See *Figure 1*.

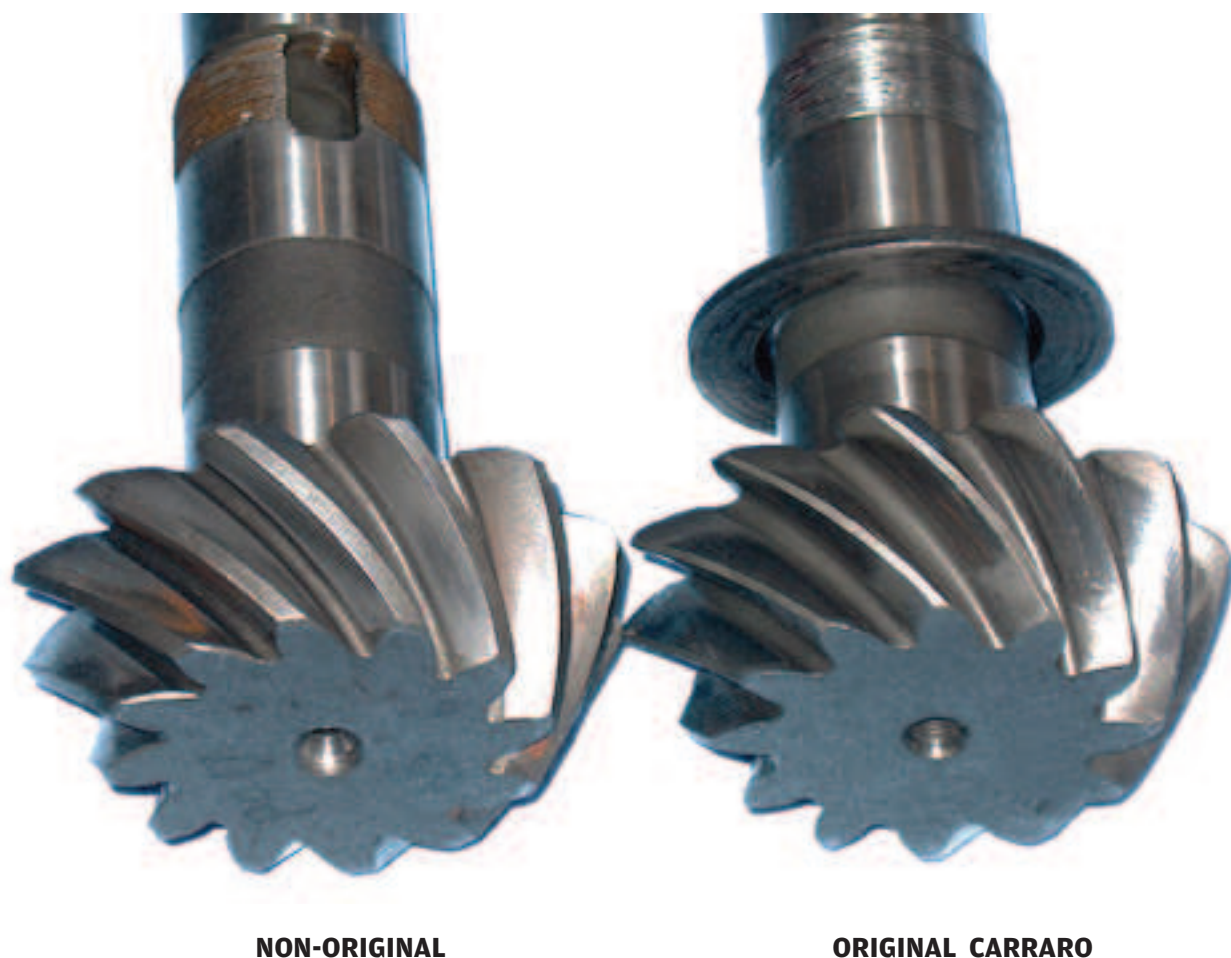


Figure 1 - The Original bevel gear pinion compared with a sample from the market

Let's analyse the pinion

What are the differences?

- › **Visual appearance:** The Carraro original pinion has a continuity of section between the tooth flank and the bottom fitting. The non-original pinion has a step and significant roughness in the area between the end of the tooth flank and the radius of the bottom fitting.
- › **Design:** The Carraro original pinion is the result of many years of experience and it is properly calculated, designed and tested to meet the application parameters. The non-original pinion is the result of reverse engineering that cannot take advantage of these skills which are part of the Carraro know-how.
- › **Process:** The high degree of process and equipment specialization and optimization in the various Carraro production sites ensure execution over time as determined in the design phase.
- › **Material:** The Carraro original pinion is made with special controlled Jominy steel sheets providing constancy of heat treatment results in terms of hardness, depth and deformation. This is possible for Carraro thanks to the amount of steel used for its gears which allows it to work directly with the best steelworks. These objectives certainly cannot be achieved by the After Market which does not have the volumes to be able to request customization of the raw material.

What do these differences mean?

- › The discontinuity of the section and the poor surface finish of the non-original pinion contribute to **microfractures in the area between the tooth and the bottom fitting** (rupture triggers) due to alternation of the elastic deformations that produce fatigue stress, generated by the pulsating load during rotation. These microfractures then quickly extend inside the material causing rupture.
- › The non-specificity of the configuration for the application does not guarantee performance optimization, resulting in a **lower reliability in use**.
- › Optimization of the tooth section of the Carraro original part derives from a specific "dimension sheet" defined in the calculation/design phase, which ensures that the "machine setting" parameters are constant regardless of the production batches. This machine data is not available for the execution of non-original components, which **therefore cannot ensure the same performances as the original**.
- › The non-customization of the material which the After Market is forced to use generates **variability of product reliability during use**.

The combination of these factors (design, material, heat treatment and production process) has produced a substantial difference in durability in benchmarking tests of approximately 12 times lower than the standard. After 500 hours in the laboratory (equivalent to 10,000 hours in field) the Carraro original pinion reached the target without rupture, while the non-original broke in 40 hours! From *Figure 2* it can be clearly seen that the rupture starts from the “step” between the tooth flank and the bottom fitting.

On the contrary, in *Figure 3* the wear (practically non-existent) at the end of the test of the Carraro original product can be seen.

Any gap in cost does not cover the substantial difference in duration between the Carraro original component and the part from competition.

When choosing between a Carraro original component and a corresponding product offered by the market, it is the fundamental to assess the costs/risks, where the costs are not only those related to the individual part, but also include the labour for the intervention and the machine downtime.



Figure 2 - Teeth base breaking of the NON-ORIGINAL pinion



Figure 3 - Teeth wear of the Carraro ORIGINAL pinion at the end of the test

Analisi comparativa: Coppia conica originale Carraro vs la corrispondente non originale

Come ben noto, una delle aree più sensibili per l'affidabilità di un assale è il differenziale/coppia conica. Sono state messe a confronto due coppie coniche: una originale Carraro (calcolata, testata,

approvata e prodotta secondo i parametri standard Carraro) ed una corrispondente, reperita dal mercato.

Vedere *Figura 1*.

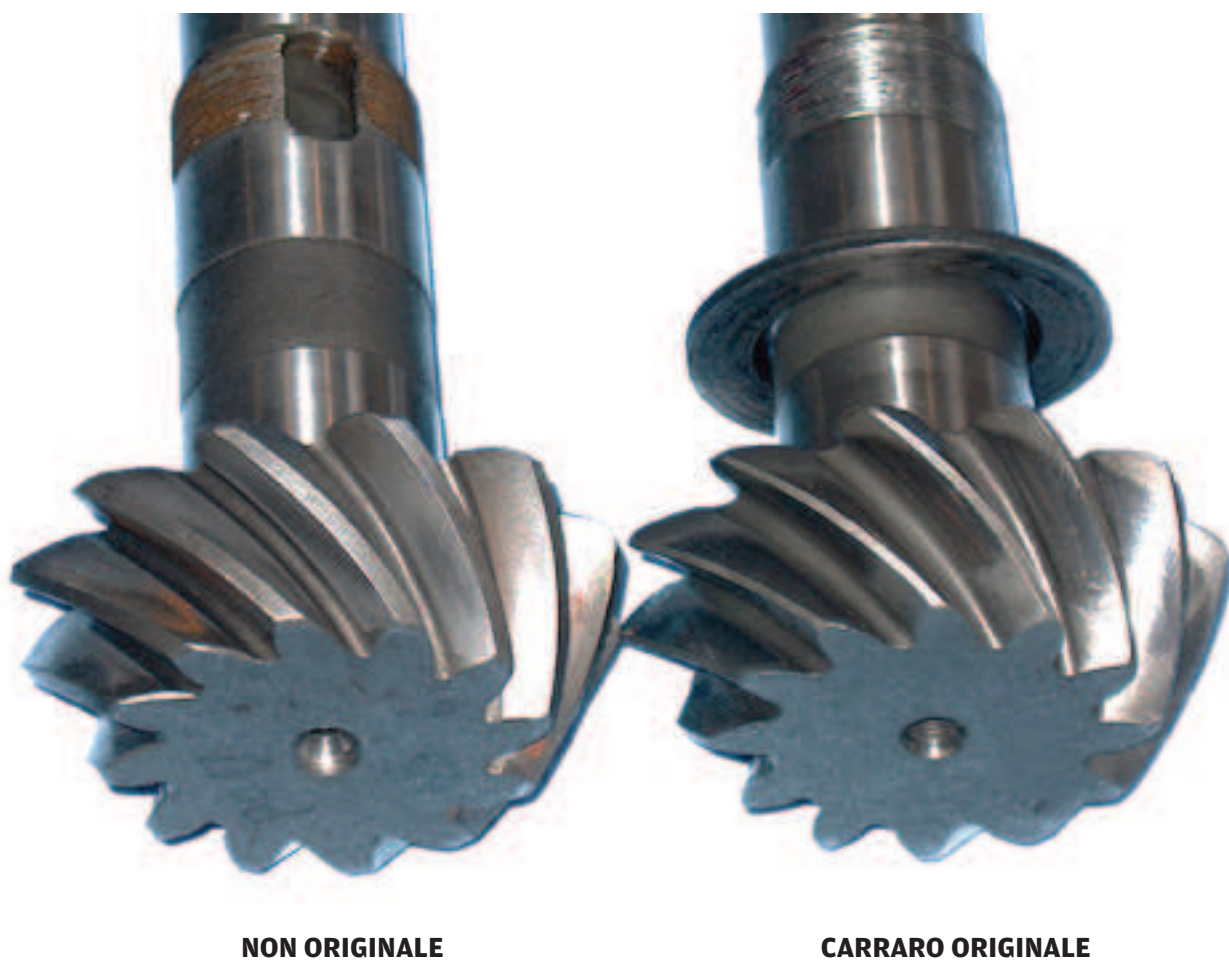


Figura 1 - Confronto pignoni coppie coniche originale vs campione dal mercato.

Analizziamo il pignone

Quali sono le differenze?

- › **Aspetto visivo:** Il pignone originale Carraro presenta una continuità di profilo tra il fianco dente ed il raccordo di fondo. Il pignone non originale presenta un gradino ed una rugosità elevata nella zona tra fine fianco dente e raggio di raccordo sul fondo.
- › **Progettazione:** Il pignone originale Carraro è frutto di una pluriennale esperienza, è adeguatamente calcolato, disegnato e testato per soddisfare i parametri dell'applicazione. Il pignone non originale è frutto di un'attività di *reverse engineering* che non può usufruire di queste competenze perché patrimonio del *know how* Carraro.
- › **Processo:** L'altissima specializzazione e l'ottimizzazione dei processi e delle attrezzature dei vari stabilimenti di produzione Carraro assicurano l'esecuzione nel tempo secondo quanto stabilito in fase di progetto.
- › **Materiale:** Il pignone originale Carraro viene realizzato con un acciaio speciale a banda Jominy controllata che permette una costanza dei risultati del trattamento termico, in termini di durezza, profondità e deformazione. Questo è possibile per Carraro grazie alle quantità di acciaio utilizzato per la propria ingranaggeria che gli permette di lavorare direttamente con le migliori acciaierie. Questi obiettivi non sono sicuramente raggiungibili dall'After Market che non possono vantare volumi tali da potere richiedere customizzazione della materia prima.

Cosa comportano queste differenze?

- › La discontinuità del profilo e la bassa finitura superficiale del pignone non originale favoriscono il crearsi di **microfratture nella zona tra il dente ed il raccordo di fondo** (inneschi a rottura) dovute all'alternanza delle deformazioni elastiche che producono stress a fatica, generate dal carico pulsante durante la rotazione. Tali microfratture si estendono poi velocemente all'interno del materiale causandone la rottura.
- › L'ottimizzazione del profilo dente del particolare originale Carraro deriva da uno specifico "*dimension sheet*" definito in fase di calcolo/progettazione, che assicura che i parametri di "settaggio macchina" saranno costanti indipendentemente dai lotti di produzione. Questi dati macchina non sono disponibili per l'esecuzione di componenti non originali, che **non potranno pertanto assicurare le stesse performance dell'originale.**
- › La non specificità della configurazione mirata all'applicazione non garantisce l'ottimizzazione delle prestazioni, ne consegue una **minore affidabilità nell'utilizzo.**
- › La non customizzazione del materiale che l'After Market è costretto ad utilizzare genera una **variabilità dell'affidabilità del prodotto durante l'utilizzo.**

La combinazione di questi fattori (progetto, materiale, trattamento termico e processo produttivo) ha prodotto una differenza sostanziale di durata in test comparativo pari a circa 12 volte inferiore allo standard. Dopo 500 ore in laboratorio (equivalenti a 10.000 ore su campo) il pignone originale Carraro ha raggiunto il target senza rotture, mentre quello non originale ha subito una rottura a 40 ore!

Dalla *Figura 2* si evince chiaramente la partenza della rottura dal “gradino” esistente tra fianco dente e raccordo di fondo.

Contrariamente nella *Figura 3* si può vedere lo stato di usura (praticamente inesistente) a fine test del prodotto originale Carraro.

L’eventuale gap di costo non copre la sostanziale differenza di vita tra il componente originale Carraro ed il prodotto da mercato parallelo. Nel momento della scelta tra un componente originale Carraro ed un corrispondente offerto dal mercato è fondamentale la valutazione costi/rischi, dove i costi non sono solo quelli riferiti al singolo ricambio, ma devono includere anche la manodopera per l’intervento e il fermo macchina.



Figura 2 - Rottura base denti pignone NON ORIGINALE



Figura 3 - Usura denti del pignone ORIGINALE Carraro a fine test

Análisis comparativo: un par cónico original Carraro comparado con su correspondiente pieza no original

Como es bien sabido, una de las áreas más críticas de la fiabilidad de un eje es el diferencial/par cónico. Se han comparado dos pares cónicos: uno original Carraro (calculado, probado, aprobado

y fabricado según los parámetros estándar Carraro) y un producto equivalente disponible en el mercado. Ver *Figura 1*.

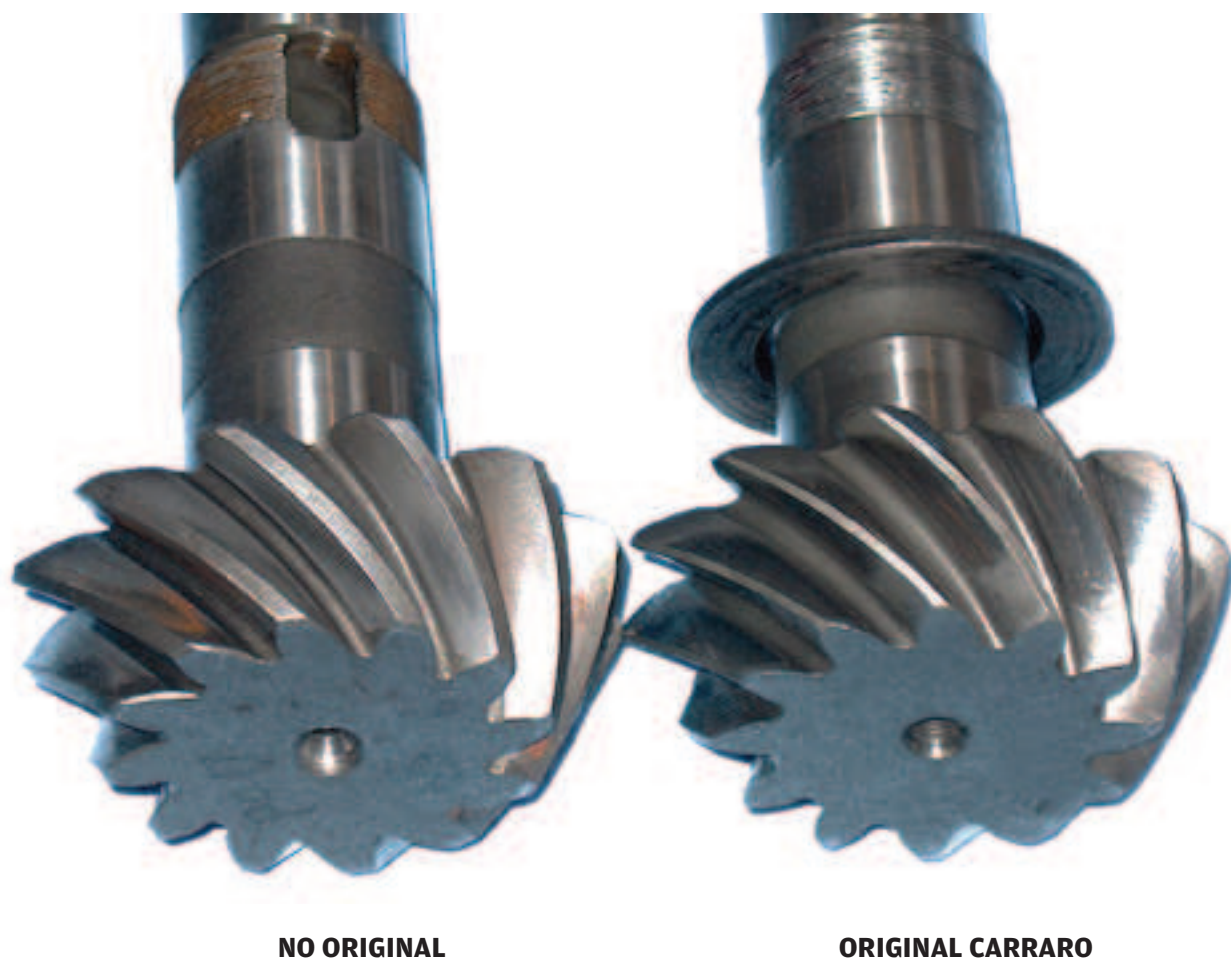


Figura 1 - Los piñones del par cónico original comparados con el de un componente de muestra del mercado

Analicemos el piñón

¿Cuáles son las diferencias?

- › **Aspecto visual:** El piñón original Carraro presenta una continuidad de sección entre el flanco del diente y la superficie de pie. El piñón no original presenta un saliente y una rugosidad elevada en la zona entre el final del flanco del diente y el radio de la superficie de pie.
- › **Diseño:** El piñón original Carraro es fruto de la experiencia, está debidamente estudiado, diseñado y probado para satisfacer los parámetros de la aplicación. El piñón no original es fruto de una actividad de ingeniería inversa, que no puede disponer de estas competencias puesto que son patrimonio del know-how de Carraro.
- › **Proceso:** El altísimo nivel de especialización y optimización de los procesos y equipos de todas las plantas de producción de Carraro garantiza en el tiempo las prestaciones definidas en fase de diseño.
- › **Material:** El piñón original Carraro está realizado con aceros especiales de banda Jominy controlada, que permiten obtener un resultado constante del tratamiento térmico en cuanto a dureza, profundidad y deformación. Carraro emplea enormes cantidades de acero para la producción de sus engranajes, lo que le permite trabajar directamente con las mejores acererías. Estos objetivos, obviamente, distan mucho de estar al alcance del After Market puesto que, al no contar con estos volúmenes de producción, no puede solicitar personalizaciones de la materia prima.

¿Qué comportan estas diferencias?

- › La discontinuidad del perfil y el bajo nivel del acabado superficial del piñón no original favorecen la creación de microfracturas en la zona situada entre el diente y la superficie del pie (desencadenantes de roturas) debido a la alternancia de deformaciones elásticas, que causan un sobreesfuerzo generado por la rotación del piñón. Estas microfracturas se extienden rápidamente por el interior del material provocando su rotura.
- › La configuración, al no estar específicamente diseñada para la aplicación, no garantiza la optimización de las prestaciones y, por consiguiente, ofrece una menor fiabilidad de uso.
- › La optimización del perfil del diente de la pieza original Carraro se obtiene gracias a una “dimension sheet” específica, definida durante la fase de cálculo/diseño, que garantiza que los parámetros de “configuración de la máquina” sean constantes en todos y cada uno de los lotes de producción. Estos datos máquina no están disponibles en la realización de los componentes no originales y, por tanto, no podrán garantizar las mismas prestaciones que el original.
- › El material no personalizado que el After Market se ve obligado a utilizar, genera una variabilidad de la fiabilidad del producto durante su uso.

La combinación de estos factores (diseño, material, tratamiento térmico y proceso de producción) ha dado como resultado una notable diferencia de duración en los tests comparativos, es casi 12 veces inferior al estándar. ¡Tras 500 horas en el laboratorio (equivalentes a 10.000 horas en campo), el piñón original Carraro llegó a objetivo sin romperse, mientras que el no original se rompió a las 40 horas!

En la *Figura 2* se aprecia claramente el inicio de la rotura desde el “saliente” existente entre el flanco del diente y la superficie de pie.

Por el contrario, en la *Figura 3* se puede observar el estado de desgaste (prácticamente inexistente) al final del test del producto original Carraro.

La posible diferencia de coste no cubre la sustancial diferencia de vida útil que existe entre el componente original Carraro y el producto no original.

A la hora de elegir entre un componente original Carraro y uno equivalente disponible en el mercado, es fundamental evaluar detenidamente los costes/riesgos, dado que los costes no se limitan exclusivamente a la pieza de repuesto en sí, puesto que, además, es necesario incluir el coste de la mano de obra para la reparación y el paro de la máquina.



Figura 2 - Rotura de la base de los dientes en el piñón NO ORIGINAL



Figura 3 - Desgaste de los dientes del piñón ORIGINAL Carraro al final del test

Analyse comparative :

un pignon conique de la marque Carraro comparé à une pièce équivalente d'une autre marque

Comme cela est bien connu, l'une des zones les plus sensibles pour la fiabilité d'un essieu est le différentiel/pignon conique. L'étude comparative analyse deux pignons coniques : un de la marque

Carraro (calculé, testé, approuvé et fabriqué suivant les standards Carraro) et un produit similaire présent sur le marché.

Voir *Figure 1*.

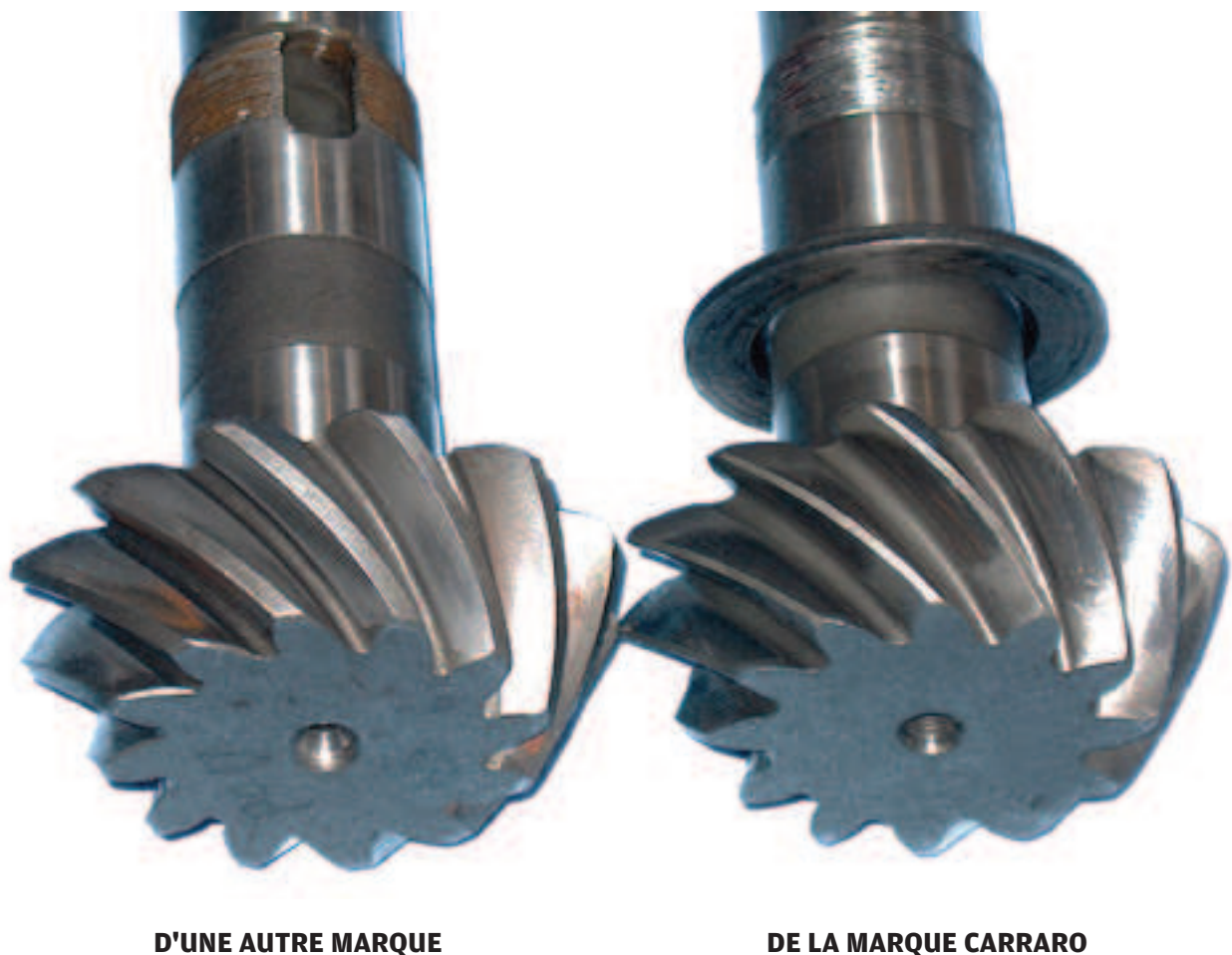


Figure 1 - Le pignon conique Carraro comparé à un autre produit présent sur le marché

Analysons les pignons

Quelles sont les différences ?

- › **Aspect extérieur :** Le pignon conique Carraro présente une continuité au niveau du profil, entre le flanc de dent et le raccord de fond. L'autre pignon conique présente un cran et une rugosité élevée dans la zone entre la fin du flanc et le rayon du raccord sur le fond.
- › **Conception :** Le pignon conique Carraro est l'aboutissement de nombreuses années d'expérience et est le fruit de calculs, conception et tests lui permettant de répondre aux paramètres demandés pour ses applications. L'autre pignon conique est le fruit d'une rétro-ingénierie, ne bénéficiant pas des compétences composant l'expertise Carraro.
- › **Processus :** Le haut niveau de spécialisation des processus et des équipements des différents centres de production Carraro assure une exécution conforme dans le temps aux spécifications initiales du projet.
- › **Matériau :** Le pignon conique Carraro est réalisé à partir d'un acier spécial à bande Jominy contrôlée qui permet d'obtenir des résultats thermiques constants dans le temps, en termes de dureté, profondeur et déformation. Ceci est rendu possible à Carraro grâce aux grandes quantités d'acier utilisé pour ses engrenages qui lui permettent de travailler directement avec les meilleures aciéries du secteur. Ces objectifs sont évidemment difficiles à atteindre par le secteur Après-Vente lequel, ayant besoin de quantités nettement inférieures, ne peut demander de recevoir un matériau personnalisé.

Quelles sont les implications de ces différences ?

- › La discontinuité du profil et une finition superficielle pauvre du pignon conique de l'autre marque favorise la création de micro-fractures dans la zone entre la dent et le raccord de fond (début de rupture), dues à l'alternance de déformations élastiques qui produisent des contraintes, générées par la charge d'impulsion durant la rotation. Ces micro-fractures s'étendent ensuite rapidement à l'intérieur du matériau et en provoquent la rupture.
- › La non-spécificité de la configuration par rapport à l'application finale n'est pas en mesure de garantir des prestations optimales, avec, comme conséquence, une faible fiabilité durant l'utilisation.
- › L'optimisation du profil de la dent du produit Carraro dérive d'une fiche spéciale des dimensions, définie durant la phase de calculs/conception et dont l'objectif est d'assurer que les paramètres de configuration de la machine soient constants, indépendamment des lots de production. Ces données de machine ne sont pas disponibles dans le cadre de l'exécution des autres produits qui, par conséquent, ne pourront pas offrir les mêmes prestations que celles du produit Carraro.
- › La non-personnalisation du matériau que le secteur Après-Vente est obligé d'utiliser génère une variabilité au niveau de la fiabilité du produit durant son utilisation.

La combinaison de ces facteurs (conception, matériau, traitement thermique et processus de production) a produit une différence substantielle de durée lors du test comparatif 12 fois inférieure à la norme.

Au bout de 500 h en laboratoire (équivalent à 10000 heures de travail effectif), le pignon conique Carraro a atteint l'objectif sans rupture tandis que l'autre produit s'est cassé au bout de 40 heures !

Dans la *Figure 2*, il ressort clairement que la rupture part du cran présent entre le flanc de dent et le raccord de fond.

Au contraire, la *Figure 3* montre l'usure (en réalité, pratiquement inexistante) à la fin du test réalisé sur le produit Carraro.



Figure 2 - Rupture base dents pignon conique du produit NON de marque

L'éventuelle différence de coût ne saurait couvrir la différence substantielle en termes de durée entre le produit Carraro et l'autre de la concurrence.

Au moment de choisir un composant original Carraro ou bien un équivalent offert par le marché, il est essentiel d'évaluer les coûts/risques, où ces coûts ne font pas seulement référence à ceux liés à l'achat de la pièce détachée même mais aussi à tous ceux comprenant la main-d'œuvre pour l'installation ainsi que le temps d'inactivité de la machine.



Figure 3 - Usure dent du pignon conique Carraro ORIGINAL à la fin du test

Benchmarking (avaliação comparativa): um pinhão cônico original Carraro versus a peça não original correspondente

Como é bem sabido, uma das áreas mais sensíveis para a confiabilidade de um eixo é o diferencial/pinhão cônico. Dois pinhões cônicos foram comparados: um original Carraro (calculado,

testado, aprovado e fabricado de acordo com os parâmetros do padrão Carraro) e um produto correspondente encontrado no mercado. Veja a *Figura 1*.

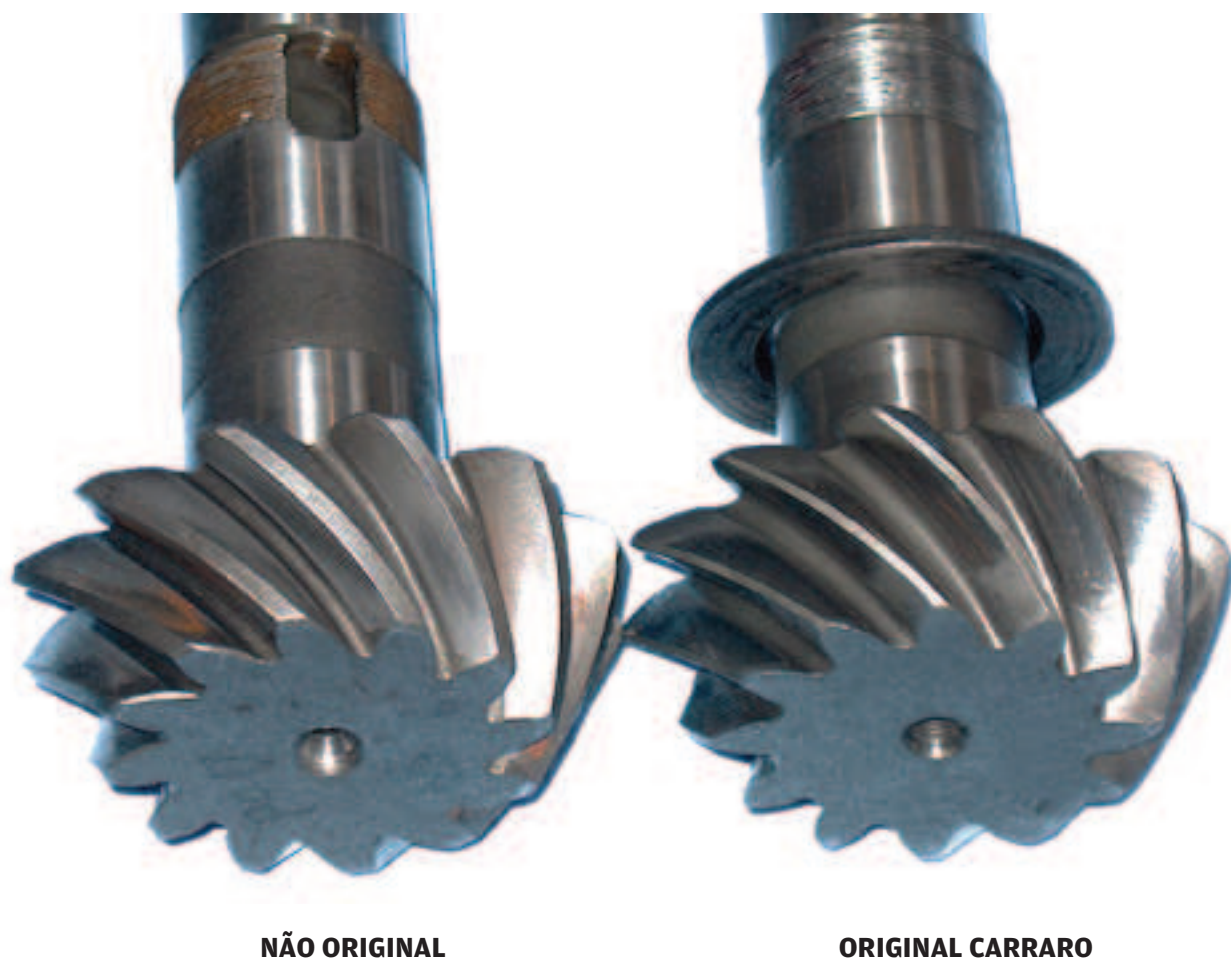


Figura 1 - O pinhão cônico original comparado com uma amostra do mercado

Vamos analisar o pinhão

Quais são as diferenças?

- › **Aparência visual:** O pinhão original Carraro tem uma continuidade de perfil entre o flanco do dente e a conexão do fundo. O pinhão não original tem um degrau e uma aspereza significativa na área entre o final do flanco do dente e o raio da conexão do fundo.
- › **Design:** O pinhão original Carraro é o resultado de muitos anos de experiência e é adequadamente calculado, desenhado e testado para atender aos parâmetros da aplicação. O pinhão não original é o resultado de engenharia reversa que não pode contar com essas habilidades que fazem parte do know-how da Carraro.
- › **Processo:** O alto grau de especialização e otimização do processo e do equipamento nos diversos locais de produção da Carraro garantem uma execução ao longo do tempo da maneira determinada na fase de desenho.
- › **Material:** O pinhão original Carraro é feito com folhas de aço Jominy especiais controladas que fornecem constância de resultados de tratamento por calor em termos de dureza, profundidade e deformação. Isso é possível para a Carraro graças à quantidade de aço usada para suas engrenagens, o que lhe permite trabalhar diretamente com as melhores fábricas de aço. Esses objetivos certamente não podem ser alcançados pelo After Market que não tem os volumes para poder solicitar a personalização do material bruto.

O que significam essas diferenças?

- › A descontinuidade do perfil e o acabamento ruim da superfície do pinhão não original contribuem para microfaturas na área entre o dente e a conexão do fundo (gatilhos de quebra) por causa da alternância das deformações elásticas que produzem estresse por fadiga, gerado pela carga pulsante durante a rotação. Estas microfaturas, então, estendem-se rapidamente para dentro do material, causando a quebra.
- › A não especificidade da configuração para a aplicação não garante uma otimização do desempenho, resultando em uma confiabilidade menor no uso.
- › A otimização do perfil do dente da peça original Carraro deriva de uma "folha de dimensões" específica definida na fase de cálculo/desenho, o que garante que os parâmetros de "configuração da máquina" sejam constantes independentemente dos lotes de produção. Estes dados da máquina não estão disponíveis para a execução de componentes não originais, que, portanto, não podem garantir os mesmos desempenhos do original.
- › A não personalização do material que o mercado secundário é forçado a usar gera uma variabilidade de confiabilidade do produto durante o uso.

A combinação desses fatores (design, material, tratamento por calor e processo de produção) produziu uma diferença substancial na durabilidade em testes de benchmarking de aproximadamente 12 vezes menos que o padrão. Após 500 horas no laboratório (equivalentes a 10.000 horas no campo), o pinhão original Carraro alcançou o alvo sem quebra, enquanto o não original quebrou em 40 horas!

Na *Figura 2* pode-se ver claramente que a quebra inicia a partir do “degrau” entre o flanco do dente e a conexão do fundo.

Ao contrário, na *Figura 3*, pode-se ver o desgaste (praticamente inexistente) ao final do teste do produto original Carraro.

Qualquer diferença de custo não sobre a diferença substancial na duração entre o componente original Carraro e a peça do concorrente.

Quando for escolher entre um componente original Carraro e um produto correspondente oferecido pelo mercado, é fundamental avaliar os custos/riscos, levando em conta que os custos não são apenas aqueles relacionados à peça individual, mas incluem também o trabalho de intervenção e o tempo de máquina parada.



Figura 2 - Quebra da base dos dentes do pinhão NÃO ORIGINAL



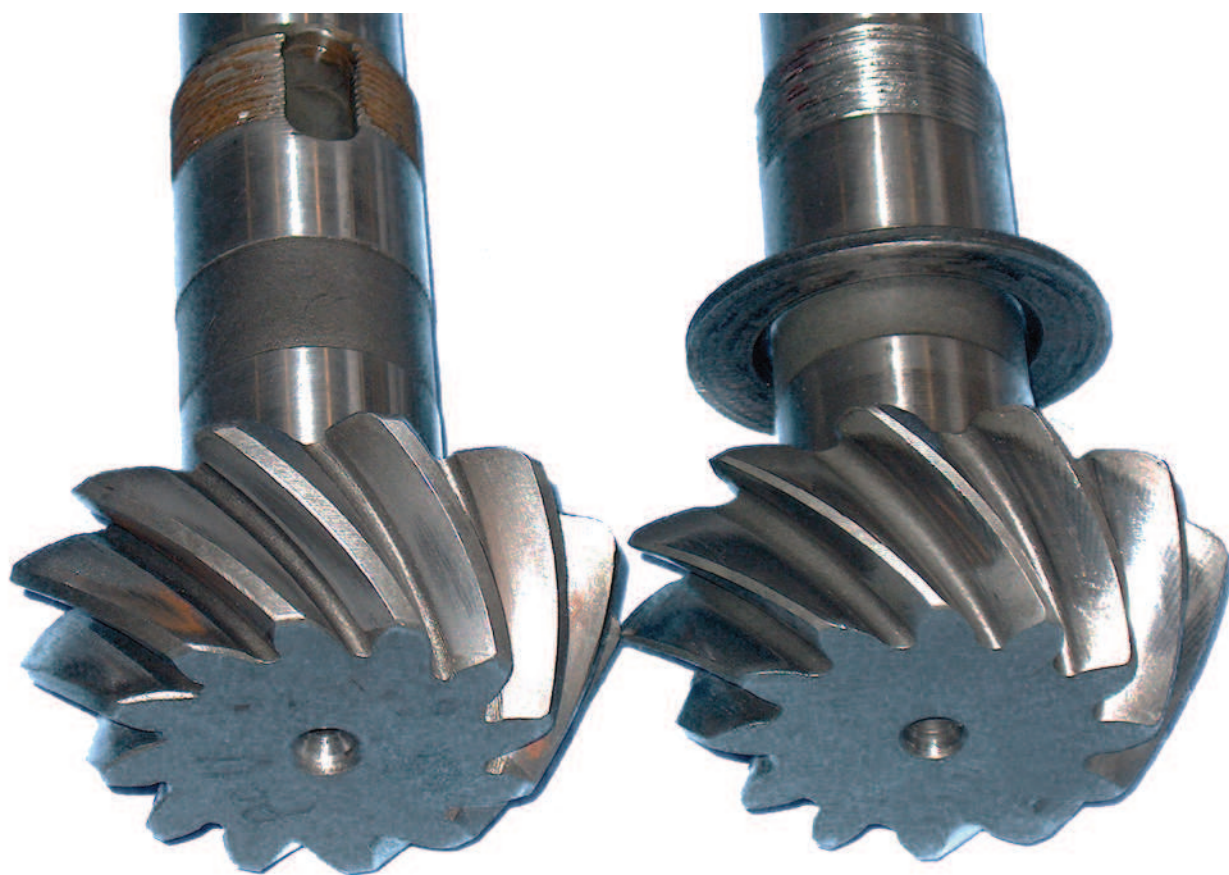
Figura 3 - Desgaste dos dentes do pinhão ORIGINAL Carraro ao final do teste

对比零件：主动螺旋伞齿轮

对比对象：卡拉罗正品零件 VS 仿制零件

正如大家所知，螺旋伞齿轮的细微差异将导致驱动桥的可靠性有着天壤之别。
以下如图所示的两个零件，一个是卡拉罗正品的

主动螺旋伞齿轮，而另一个是市场上找到的仿制零件。
见下图1



仿制零件

卡拉罗正品零件

让我们仔细分析这两种零件

有什么不同？

- 外观：卡拉罗正品零件的齿根与齿根圆之间是连续过渡的曲面，而仿制零件的齿根与齿根圆之间有明显的台阶，并且齿面较为粗糙。
- 设计：卡拉罗正品零件的设计数据源于卡拉罗多年的经验数据、精准计算和严格测试，而仿制零件的设计数据只是通过测绘而来，不可能得到卡拉罗原始的精准数据。
- 加工：卡拉罗的生产车间、流程及设备的高度专业化和优化，确保设计的每一个参数都能在零件生产过程中得到完全实现。
- 材质：卡拉罗正品零件是由严格控制的高品质淬火钢制成，材料的硬度和淬火的深度高度精准并确保永不变形，这源自于卡拉罗巨大的材料用量和与材料供应商良好的合作关系。而仿制品供应商是无法达到这种条件和状态的。

这些不同意味着什么呢？

- 仿制品零件不连续和劣质的粗糙表面，将导致齿根与齿底之间产生细微裂痕，在齿轮旋转工作时脉冲载荷的作用下，细微裂痕会在材料内部迅速延伸，将产生疲劳损伤，最终导致轮齿断裂。
- 制造零件的过程中不使用专业设备将不能保证零件尺寸的精准，从而导致零件的可靠性降低。
- 卡拉罗正品零件的设计数据源自于专有的设计计算系统和数据库，从而确保了任何批次的产品在几何尺寸和材料性能上都保持一致。而仿制零件却不能保证这一点。
- 仿制零件的材料得不到保障也就导致零件的品质得不到保障。

所有这些因素（设计、材料、热处理和加工）会导致零件使用寿命的巨大不同。在对比测试中，仿制零件的使用寿命比正品零件的寿命标准降低了12倍。在实验室中的500小时试验（相当于实际装机使用10000小时），卡拉罗正品零件达到了预期标准且没有发生断裂。相反，仿制零件在40小时就发生了断齿！

从图2中我们可以清晰地看到仿制零件轮齿的断裂始于齿根与齿底之间的梯形区域。

从图3中我们可以看到在试验结束时卡拉罗正品零件几乎没有产生磨损。

成本的差距不能覆盖卡拉罗正品零件与竞争零件的实质性差异。

在选择卡拉罗正品组件或市场上的相似组件时，成本和风险评估是必要的。因为相关成本不仅是个别零件，还包括劳动力和导致机器停运的时间。



图2



图3