



Indice dati tecnici Organi di trasmissione

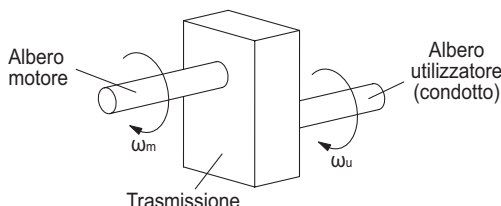
	pag.
1. INTRODUZIONE ALLE TRASMISSIONI	997
2. ORGANI DI TRASMISSIONE	997
2.1 Il dente	998
2.2 Gli ingranaggi cilindrici	999
2.3 Le cremagliere	999
3. NOTE TECNICHE	999
3.1 Accoppiamento	999
3.2 Interasse di funzionamento	1000
3.3 Lubrificazione	1000
3.4 Materiali	1000
4. ACCORGIMENTI PER LE LAVORAZIINI DI INGRANAGGI IN PLASTICA	1001
5. APPLICAZIONI	1001
GLOSSARIO	1002

1. INTRODUZIONE ALLE TRASMISSIONI

Una trasmissione meccanica è costituita dal complesso degli organi che servono per trasmettere potenza in un sistema meccanico, trasferendo quindi energia da un motore ad un utilizzatore per un certo periodo di tempo:



Il trasferimento di questa potenza dal motore alla trasmissione avviene in genere tramite l'albero motore. Un albero utilizzatore (detto anche albero condotto) permette invece il trasferimento di questa potenza dalla trasmissione fino all'utilizzatore.



La potenza che giunge all'utilizzatore non potrà mai essere uguale a quella uscente dal motore. Infatti, durante la trasmissione, parte di questa potenza verrà dissipata per attrito o persa tramite calore. Per valutare quanta potenza viene effettivamente utilizzata rispetto a quella generata viene quindi utilizzato un rendimento (η):

$$\eta = \frac{P_u}{P_m} = \frac{M_r \cdot \omega_u}{M_m \cdot \omega_m} < 1$$

dove:

- Potenza motrice (P_m) = Potenza Utile (P_u) + Potenza Dissipata (P_d)
- M_m e M_r sono, rispettivamente, la coppia motrice e la coppia resistente
- ω_m e ω_u sono, rispettivamente, la velocità angolare dell'albero motore e dell'albero utilizzatore

La potenza motrice viene in genere espressa come:

$$P_m [W] = M_m [Nm] \cdot \omega_m \left[\frac{\text{rad}}{s} \right] = \frac{M_m [Nm] \cdot n_m \left[\frac{\text{giri}}{\text{min}} \right]}{9.55} \quad \text{con} \quad \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

dove n_m è il numero di giri dell'albero motore espresso in giri al minuto (rpm) e 9.55 è invece il fattore di conversione per trasformare i radianti al secondo in rpm.

Il parametro caratteristico della trasmissione è il **rapporto di trasmissione (τ)** il rapporto tra la velocità angolare dell'albero motore e quella dell'albero condotto:

$$\tau = \frac{\omega_m}{\omega_u} = \frac{n_m}{n_u}$$

$\tau > 1$: trasmissione con riduzione

$\tau = 1$: trasmissione senza variazione

$\tau < 1$: trasmissione con moltiplicazione

2. ORGANI DI TRASMISSIONE

Per permettere la trasmissione del moto come visto al paragrafo precedente occorrono degli appositi organi meccanici. Un ingranaggio è un meccanismo utilizzato per trasmettere un movimento e/o un momento meccanico da un oggetto ad un altro. Generalmente è costituito da due o più ruote dentate, che possono essere di uguale o diversa dimensione. Delle due ruote una trasmette il moto (ruota motrice) e l'altra lo riceve (ruota condotta). La ruota condotta ruota in senso contrario alla ruota motrice. La ruota più piccola viene comunemente chiamata pignone, mentre la più grande è anche detta corona.

Esistono diverse tipologie di ruote dentate, le più comuni sono: ruote cilindriche a denti dritti, ruote cilindriche a denti elicoidali, ruote coniche a denti dritti, coppie pignone / dentiera e coppia vite senza fine / ruota elicoidale. Ognuna di queste tipologie di ruote dentate permette la trasmissione del moto tra assi diversamente posizionati tra di loro.





Le ruote dentate realizzano la trasmissione di potenza fra corpi rigidi tramite l'interazione di denti progressivamente in contatto. La circonferenza lungo la quale avviene il contatto della coppia di ruote dentate viene definita **circonferenza primitiva**. La distanza tra i centri delle primitive che costituiscono una coppia di ingranaggi viene chiamato **interasse di funzionamento**.

I denti possono avere diversi tipi di profilo. I profili più diffusi hanno la forma di una **evolvente**, una curva ottenuta come traiettoria di un punto appartenente ad una retta che rotola senza strisciare su una circonferenza.

Comunemente, i denti si sviluppano in direzione radiale a cavallo della superficie primitiva. Si definisce **testa del dente** la parte sporgente dalla superficie primitiva e compresa tra la circonferenza primitiva e la circonferenza di testa. La parte rientrante e compresa tra la circonferenza primitiva e la circonferenza di base è chiamata **base del dente**. Ciascuna delle superfici laterali del dente è denominata **profilo**. Esso è suddiviso in due porzioni dalla circonferenza di primitiva: quella esterna ad essa si chiama **costa**, quella posta all'interno si chiama **fianco**.

Il profilo di un dente (Fig.1) può essere suddiviso in due parti: si definisce **addendum (h_a)** la distanza presa in direzione radiale fra la **circonferenza primitiva (d)** e la **circonferenza di testa (d_a)**; si definisce **dedendum (h_f)** la distanza, anch'essa radiale, fra la primitiva e la **circonferenza di base (d_f)**, che delimita il dente inferiormente. La somma di queste due grandezze costituisce l'**altezza del dente (h)**.

Viene definito **passo della dentatura (p)** la distanza fra due punti omologhi di due denti consecutivi, misurata lungo la circonferenza primitiva. Il **vano del dente (e)** è invece la lunghezza dell'arco di circonferenza primitiva compreso tra due denti consecutivi. Lo **spessore del dente (s)** è la lunghezza dell'arco di circonferenza primitiva limitato da un dente. Infine, la **larghezza della dentatura (b)** viene definita come l'ingombro assiale del dente.

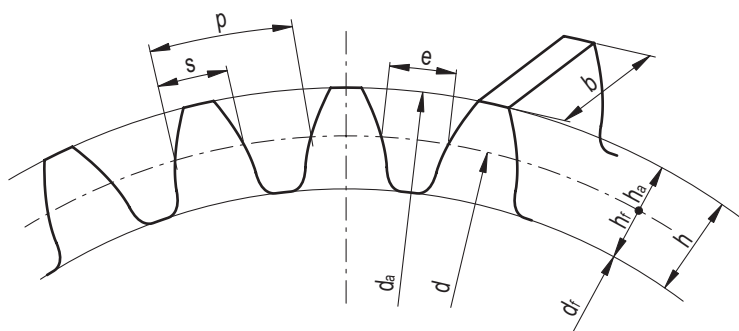


Fig.1: Profilo di un dente

Affinché due ruote dentate, con raggio della primitiva pari r_1 ed r_2 , ingranino correttamente, devono avere lo stesso passo p . Il passo della dentatura è quindi legato alla circonferenza primitiva tramite la seguente relazione:

$$2\pi \cdot r_1 = p \cdot z_1 \quad \text{e} \quad 2\pi \cdot r_2 = p \cdot z_2$$

dove z è il numero di denti presenti sulla ruota. Da qui, si può ricavare una grandezza fondamentale nell'utilizzo delle ruote dentate, ovvero il **modulo della dentatura (m)**:

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_2}{z_2}$$

Poiché due ruote per ingranare correttamente tra di loro devono avere lo stesso passo (p), ne consegue che devono avere anche lo stesso modulo (m).

Il numero di denti si può anche correlare al rapporto di trasmissione (τ) tramite la seguente formula:

$$\tau = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1}$$

Altra condizione necessaria affinché due ruote dentate ingranino è che abbiano lo stesso angolo di inclinazione dell'elica. I denti della ruota motrice trasmettono ai denti della ruota condotta una spinta (F) che ha direzione tale da formare un angolo di pressione (α) con la tangente comune alle due circonferenze primitive. Il valore dell'angolo di pressione α influisce sul numero minimo di denti che una ruota può avere affinché l'intero profilo del dente abbia la forma di un evolvente. Gli organi di trasmissione ELESA hanno angoli di pressione pari a 20° .

2.2 Gli ingranaggi cilindrici

Le ruote dentate più comuni sono i cosiddetti ingranaggi cilindrici, che presentano i denti radialmente sulla superficie esterna (o interna) della ruota. In particolare, gli ingranaggi a denti dritti vengono utilizzati per trasmettere il moto di rotazione tra due assi (o alberi) paralleli.

I dati della coppia massima riportati nelle tabelle della scheda tecnica sono frutto di un incrocio tra i calcoli teorici e i dati sperimentali ottenuti in laboratorio.

I calcoli teorici sono basati sulla formula di Lewis. Con questa formula si verifica che il dente (Fig.2), considerato come una mensola incastrata sulla corona, non ceda sotto l'azione della forza (F) (considerata come forza statica) trasmessa dalle ruote. Questa teoria è basata sulle seguenti ipotesi:

- la sollecitazione della forza complessiva (F) sul dente è considerata per semplicità applicata alla punta del dente stesso
- la componente radiale della forza (F_r) che determina uno sforzo di compressione sul dente è considerata trascurabile; ne consegue che la componente della forza (F) che determina la flessione del dente è l'unica considerata e, per semplicità, avrà valore uguale alla forza tangenziale (F_t) sulla primitiva
- per il calcolo viene presa in considerazione la situazione più sfavorevole, con una sola coppia di denti in presa

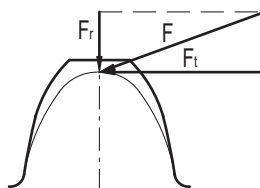


Fig.2: Applicazione delle forze sul dente tramite la formula di Lewis

La forza (F_t) viene correlata quindi alla coppia (M) tramite il diametro primitivo:

$$M = F_t \cdot \frac{d}{2}$$

I dati sperimentali sono stati ottenuti tramite prove in laboratorio e verificati con un software prendendo in considerazione la linea guida VDI 2736 per la progettazione delle ruote dentate in tecnopolimero. Le prove sono state effettuate in continuo a velocità di 100-150 giri al minuto in assenza di lubrificazione, per realizzare le condizioni più gravose.

Le coppie riportate nelle tabelle delle schede tecniche forniscono un'indicazione di massima e non devono essere considerate valide per ogni tipologia di applicazione. Le condizioni operative (velocità di rotazione, presenza o meno di lubrificanti, temperature di esercizio, accoppiamento con organi di trasmissione di diversi materiali, fattore di servizio ecc.) influiscono notevolmente sulle prestazioni.

Il progettista dovrà tenere conto delle condizioni reali di utilizzo diverse da quelle del laboratorio.

2.3 Le cremagliere

Una cremagliera (detta anche dentiera) può essere considerata come un ingranaggio con raggio infinito. Essa viene utilizzata per trasformare il moto rotatorio in moto traslatorio e viceversa. La ruota dentata che ingrana con la cremagliera è detta rochetto o pignone.

A differenza degli ingranaggi cilindrici, per le cremagliere viene valutata la forza massima applicabile sul dente. Questo è dovuto al fatto che su questo particolare organo di trasmissione non viene applicato nessun momento torcente.

I dati della forza massima riportati nelle tabelle della scheda tecnica sono il risultato di prove di laboratorio durante le quali si applicava una forza crescente al dente della cremagliera fino a rottura. Si noti che il valore di forza massima riportata nella scheda tecnica indica lo sforzo massimo sopportabile nel caso di un solo dente in presa.

Un aumento del numero di denti in presa non aumenterà linearmente il carico massimo applicabile sul prodotto perché, per quanti possano essere i denti in presa, soltanto uno lavorerà sempre in condizioni ottimali.

3. NOTE TECNICHE

3.1 Accoppiamento

Gli organi di trasmissione in tecnopolimero rinforzato possono ingranare sia con ingranaggi dello stesso materiale che con ingranaggi in metallo. In caso di accoppiamento con un ingranaggio in metallo, grazie alla maggiore conducibilità termica del metallo stesso rispetto al tecnopolimero, si ha un migliore smaltimento del calore che si accumula durante il funzionamento. In caso di accoppiamento metallo – tecnopolimero, la soluzione ottimale si ha quando il pignone è in metallo e la corona in tecnopolimero, in quanto l'usura della ruota dentata in tecnopolimero è più limitata.



3.2 Interesse di funzionamento

L'interesse di funzionamento (I), cioè la distanza tra i centri degli alberi su cui vengono montate le ruote dentate, è dato dalla seguente formula:

$$I = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

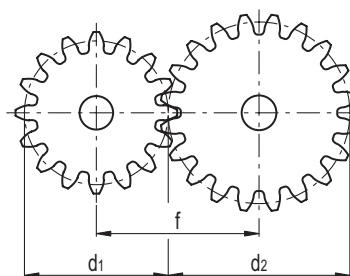
dove d_1 e d_2 sono i diametri primitivi degli ingranaggi.

Per avere un ingranamento ottimale, è necessario prevedere un gioco di funzionamento positivo tra i due centri degli alberi, cioè che la distanza effettiva (f) fra i centri degli alberi su cui vengono montate le ruote sia leggermente superiore all'interesse (I).

$$f = \frac{d_1 + d_2}{2} + t$$

Un ingranamento senza gioco o addirittura con gioco negativo, aumenta infatti l'attrito tra i denti, innalzando la temperatura di funzionamento e diminuendo di conseguenza la resistenza ad usura e a fatica. Per evitare questi problemi, per gli ingranaggi ELESa si consiglia di adottare i seguenti giochi di funzionamento (t):

- (+0.03 +0.1) per moduli tra 0.5 e 1.5
- (+0.08 +0.3) per moduli maggiori



3.3 Lubrificazione

Uno dei vantaggi principali degli ingranaggi in tecnopolimero rinforzato è la possibilità di poterli utilizzare anche in assenza di lubrificazione, data la natura intrinseca dei polimeri. Nel caso in cui ve ne fosse la possibilità, è comunque preferibile utilizzare un lubrificante per ridurre gli attriti e l'usura, aumentando quindi la vita utile del prodotto. Per gli ingranaggi ELESa si consiglia di utilizzare grassi lubrificanti a base di saponi di litio e olio sintetico.

A parità di numero di giri, coppia e condizioni di utilizzo, l'utilizzo dei lubrificanti aumenta considerevolmente la vita utile dell'ingranaggio rispetto al funzionamento a secco.

3.4 Materiali

Gli ingranaggi cilindrici e le cremagliere ELESa sono fabbricati in tecnopolimero a base poliammidica rinforzata con fibra vetro. Questo tipo di materiale ha tra le sue principali caratteristiche meccaniche:

- una elevata resistenza alla torsione e alla trazione (circa 3 volte superiore alla resina acetaltica)
- una buona resistenza alle alte temperature
- un basso coefficiente d'attrito, specialmente se paragonato all'acciaio, da cui consegue che gli ingranaggi in tecnopolimero possono essere utilizzati anche nei casi dove non sia possibile la lubrificazione
- un basso peso specifico, da cui consegue una maggior leggerezza del prodotto rispetto alle alternative in metallo
- una elevata stabilità dimensionale, resistenza all'usura, resistenza agli agenti chimici

Gli ingranaggi cilindrici ZCP sono invece fabbricati in tecnopolimero a base acetaltica, che ha tra le principali caratteristiche meccaniche:

- un coefficiente di attrito molto basso (circa la metà rispetto a quello del tecnopolimero con fibra vetro), che ne consente l'utilizzo dove è necessario evitare lubrificanti
- un'elevata resistenza all'usura, che garantisce sia un'elevata velocità di rotazione che una lunga vita dell'ingranaggio.
- una bassa igroscopicità, che ne consente l'utilizzo in ambienti umidi.
- è fisiologicamente inerte, il che lo rende idoneo al contatto con alimenti.
- alta resistenza agli agenti chimici e ai solventi.

4. ACCORGIMENTI PER LE LAVORAZIONI DI INGRANAGGI IN PLASTICA

Per garantire la concentricità del foro, la presa dell'ingranaggio va fatta con delle ganasce direttamente sulla dentatura e non sul mozzo, come mostrato in Fig.3.

La superficie di presa con le ganasce deve essere la maggiore possibile per evitare di schiacciare il dente (ad esempio per il modulo 3 occorre prendere almeno 3-4 denti, per il modulo 1 almeno 7 denti) e il diametro della ganasce tornita deve essere di 1-2 millimetri più grande del diametro dell'ingranaggio.

La lavorazione dell'ingranaggio può essere eseguita a secco ma sarebbe più opportuno utilizzare il soffio aria per raffreddare il truciolo soprattutto nelle lavorazioni profonde, forature e maschiature.

Le velocità di taglio devono essere tendenzialmente basse (attenersi alle specifiche degli inserti) e gli avanzamenti veloci per evitare surriscaldamenti del truciolo e di conseguenza ricalco per incollaggio sulla superficie lavorata. Vanno utilizzate alte profondità di passata in sgrossatura e non troppo basse per la finitura.

Per l'esecuzione delle chiavette utilizzare delle velocità di avanzamento abbastanza alte (2000-2500 mm/1') e profondità di passata basse (0.3/0.5 mm) per evitare strappi di materiale in uscita dal pezzo.

Per le forature utilizzare velocità di taglio non troppo alte e avanzamenti che facciano un truciolo consistente per consentire una bella evacuazione. Usare diametri punte maggiorati perché il foro eseguito tende a essere più stretto del nominale.

Per le filettature le velocità sono simili alle forature (se eseguite con maschi). In caso di filettature profonde prevedere la preforatura con scarico truciolo a metà esecuzione e la filettatura a tratti con ritorno a circa tre quarti dal fondo.

Si consiglia di usare utensili con spoglia positiva o superpositiva per un taglio migliore.

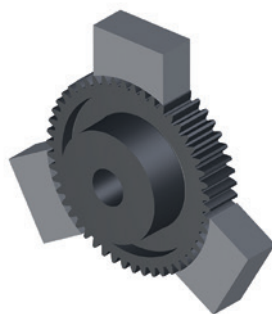


Fig.3: Lavorazione degli ingranaggi

5. APPLICAZIONI

Gli organi di trasmissione in tecnopolimero rinforzato offrono una valida alternativa agli organi di trasmissione in metallo e possono essere utilizzati in tutte quelle applicazioni per le quali sia richiesta una maggior silenziosità oppure nei casi in cui si vuole evitare l'uso di lubrificanti. La maggior leggerezza rispetto ai prodotti in metallo ne aumenta anche il campo di impiego ai settori in cui viene richiesta una minimizzazione del peso. L'elevata resistenza agli agenti chimici del tecnopolimero garantisce anche una limitata corrosione in ambienti aggressivi.

Spesso inoltre gli ingranaggi in acciaio sono sovradimensionati rispetto all'effettivo uso a cui sono destinati: in questo caso gli ingranaggi in tecnopolimero si rivelano delle ottime soluzioni, garantendo una elevata resistenza meccanica unita ad un risparmio dal punto di vista economico.

I campi di impiego degli ingranaggi in tecnopolimero sono i più svariati:

- Macchinari per il packaging
- Macchinari per la pulizia industriale
- Macchinari per la lavorazione della ceramica e del vetro
- Industria alimentare
- Industria tipografica
- Macchinari per l'agricoltura
- Industria chimica e farmaceutica
- Elettrodomestici



**Addendum**

Altezza della testa del dente, cioè della parte di esso che è compresa tra la circonferenza primitiva e la circonferenza di testa.

Albero condotto

Organo di trasmissione cilindrico, di varia lunghezza e spessore, che riceve il moto da un albero motore o da una ruota conduttrice.

Albero motore

Organo di trasmissione cilindrico, di varia lunghezza e spessore, a cui viene applicata la forza motrice generata da una macchina e che trasmette moto e potenza.

Angolo di pressione

Angolo compreso tra la tangente alla circonferenza primitiva e la normale alla superficie del dente, entrambe prese nel punto in cui la circonferenza primitiva entra in contatto con la superficie del dente stesso. È una caratteristica fondamentale della dentatura: solo ingranaggi con lo stesso angolo di pressione possono essere accoppiati tra di loro.

Attrito

Forza resistente che si produce nel contatto tra due corpi premuti l'uno contro l'altro, che ne ostacola il movimento relativo. La presenza di attriti implica una perdita di energia meccanica, dissipata in calore.

Base del dente

Parte del dente che si trova al di sotto della circonferenza primitiva.

Circonferenza di base

Circonferenza che delimita la base del dente.

Circonferenza di testa

Circonferenza che delimita la sommità del dente.

Circonferenza primitiva

Circonferenza lungo la quale avviene il contatto della coppia di ruote dentate.

Corona

In un sistema di due ruote dentate, la corona rappresenta la ruota di diametro maggiore.

Costa

Superficie laterale del dente che giace al di sopra della circonferenza primitiva.

Cremagliera

Una cremagliera è un ingranaggio lineare (un ingranaggio con raggio infinito) che assieme ad una ruota dentata, chiamata rocchetto o pignone, viene utilizzato per convertire il moto rotatorio in moto lineare continuo o viceversa.

Dedendum

Altezza della base del dente, cioè della parte di esso che è compresa tra la circonferenza di base e la circonferenza primitiva.

Dente

Alemento sporgente esternamente o internamente dalla circonferenza di base e che consente, tramite contatto con un altro dente di un secondo organo di trasmissione, la trasmissione della coppia o della forza tra due diversi organi di trasmissione.

Fianco del dente

Superficie laterale del dente che giace al di sotto della circonferenza primitiva.

Gioco di funzionamento

Distanza tra i denti di due ingranaggi accoppiati tra di loro. Il gioco di funzionamento può anche essere visto come la differenza tra la distanza reale tra i centri degli alberi su cui vengono montati gli ingranaggi e l'interasse misurato come somma dei raggi primitivi delle due ruote dentate. Un gioco negativo (con distanza reale inferiore quindi all'interasse) porta i denti degli ingranaggi ad essere più vicini tra di loro, comportando un maggior contatto tra i denti e quindi una maggior difficoltà nell'ingranamento, col rischio di grippaggio. Un gioco di funzionamento positivo comporta una riduzione del rischio di grippaggio ma, se eccessivo, riduce il contatto tra i denti limitando la coppia trasmessa e abbassando il rendimento della trasmissione.

Ingranaggio

Meccanismo che serve alla trasmissione di movimenti da un albero a un altro, mediante una coppia di organi dentati, per lo più ruote. È generalmente costituito da due o più ruote dentate, che possono essere di uguale o diversa dimensione.

Ingranaggio cilindrico a denti dritti

Ingranaggi con denti paralleli all'asse del cilindro che consentono la trasmissione del moto tra due assi paralleli.

Interasse di funzionamento

Distanza teorica tra i centri degli alberi su cui vengono montati gli ingranaggi. È dato dalla somma dei raggi primitivi delle due ruote dentate.

Larghezza del dente

Ingombro assiale del dente.

Lubrificante

Sostanza, generalmente liquida, utilizzata per ridurre al minimo l'attrito tra due superfici striscianti l'una sull'altra e usata per proteggere parti meccaniche soggette a usura. Per gli ingranaggi Elesa si consiglia di utilizzare grassi lubrificanti a base di saponi di litio e olio sintetico.

Modulo della dentatura

Rapporto tra il diametro primitivo dell'ingranaggio e il numero di denti dello stesso. È uno dei parametri caratterizzanti la dentatura di un ingranaggio: affinché due ruote dentate possano ingranare, devono avere lo stesso modulo.

Passo della dentatura

Distanza tra due punti omologhi di due denti consecutivi, misurata lungo la circonferenza primitiva. Il passo della dentatura permette di calcolare il modulo dell'ingranaggio ed è una misura fondamentale per valutare se due ruote dentate possono essere accoppiate: ruote dentate con passi diversi infatti non possono ingranare tra di loro.

Pignone

In un sistema di due ruote dentate, il pignone rappresenta la ruota di diametro minore. È anche la ruota dentata che si accoppia ad una cremagliera (considerata come ingranaggio di raggio infinito) per trasformare il moto traslatorio in lineare o viceversa.

Spessore del dente

Lunghezza dell'arco di circonferenza primitiva delimitato da un dente.

Testa del dente

Parte del dente che sporge dalla circonferenza primitiva.

Usura

Consumo di un materiale per effetto dello sfregamento con altro materiale.

Vano del dente

Lunghezza dell'arco di circonferenza primitiva compreso tra due denti consecutivi. Rappresenta lo spazio vuoto tra due denti.