

Bearbeitungshinweise

Processing information

1 Allgemeines

Bei der Bearbeitung von Kunststoffen ist auf deren spezielle Eigenschaften Rücksicht zu nehmen. Die viskoelastischen Eigenschaften haben zur Folge, dass besondere Ansprüche an die Werkzeuge gerichtet werden müssen. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, HSS-Stähle zu verwenden. Die Werkzeuge müssen immer sehr scharf geschliffen sein. Das zu bearbeitende Werkstück muss immer so eingespannt sein, dass es bei der Bearbeitung nicht zu schwingen beginnt.

Im Gegensatz zu Metall ist die Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen sehr gering. Die Wärme wird nicht von der Oberfläche in das Halbzeug transportiert, wie es bei Metallen der Fall ist. Sie muss aktiv von der Oberfläche entfernt werden. Dies kann vorzugsweise über den Span geschehen. Auch eine Luftkühlung kann sehr effektiv sein.

Grundsätzlich gilt: **sehr scharfe Werkzeuge** und **sehr gute Kühlung** sind Voraussetzung für ein sauberes mechanisches Bearbeiten von Kunststoffhalbzeug.

2 Bearbeitungstemperatur

Allgemeines im Extrusionsverfahren oder im Gießverfahren hergestellt. In beiden Fällen entstehen in den Materialien Spannungen, die durch eine thermische Nachbehandlung abgebaut werden. Es sind aber immer noch Restspannungen im Material vorhanden. Bei unsachgemäßer Bearbeitung können diese Spannungen zu Maßveränderungen nach der Fertigung und im Extremfall zu Rissen im Fertigteil führen. Es sollte vermieden werden, Kunststoffhalbzeuge im kalten Zustand (Temperatur deutlich unter Raumtemperatur) zu verarbeiten. Wird Material z.B. im Winter per LKW angeliefert, sollte es nicht sofort verarbeitet werden. Es hat sich gezeigt, dass 24 bis 48 Std. in einer Halle mit Raumtemperatur in den meisten Fällen ausreichen.

1 General

When working with thermoplastic polymers, their special properties must be taken into account. Their viscoelastic properties impose special requirements on tooling. The use of tools made of HSS-steels has proved advantageous. In general, the tools must be kept very sharp, and the part to be machined must be fixed in such a way to prevent it from vibrating during processing.

In contrast to metals, polymers exhibit very low thermal conductivity, i.e. heat is not conducted away from the surface into the workpiece as it is the case with metals. Therefore, heat must be actively removed from the surface, which is preferably done by means of the chips. Additional air cooling can also be very effective.

Basic requirements for clean mechanical processing of plastic parts are **very sharp tools** and **very good cooling**.

2 Processing temperature

Semi-finished plastic parts are usually produced either by extrusion or by casting. In both cases, internal stresses are generated in the material, which are reduced by subsequent thermal treatment. However, a small amount of stress remains in the material, which can result in dimensional inaccuracies or possibly crack formation in the finished part if the material is not treated properly. Therefore, processing of semi-finished plastic products in cold condition (i.e. at temperatures well below room temperature) should be avoided. If the material is delivered, for example by lorry during the winter, it should not be processed immediately. Experience has shown that it is sufficient to store the material at room temperature for 24 to 48 hours prior to processing.

3 Maße und Spannungen im Material

Häufig werden bei der Konstruktion von Kunststoffteilen Anforderungen an die Toleranzen gestellt, die diese Materialien nicht erfüllen können. Ein anschauliches Beispiel hierfür ist folgende Situation:

Eine Welle mit einem Durchmesser von 150mm (thermischer Längenausdehnungs-Koeffizient 10^{-4} K $^{-1}$) soll aus POM mit einer Toleranz von $\pm 0,05$ mm gefertigt werden. Es gelingt dem Dreher, dieses Maß einzuhalten und es ist ihm dabei sogar möglich, die Messtemperatur von 20°C genau einzuhalten. Das Ist-Maß beträgt tatsächlich 150,0 mm. Die Montage des Bauteils erfolgt im Freien unter Sonneneinstrahlung und die Temperatur der Welle beträgt somit 28° C. Die Welle passt nicht in ihr Lager, da sie jetzt einen Durchmesser von 150,12 mm hat. Eine Stahlwelle (thermischer Längenausdehnungskoeffizient $1,2 \cdot 10^{-5}$ K $^{-1}$) hätte sich nur um ca. 0,014 mm geweitet.

Analoge Überlegungen gelten natürlich bei der Bearbeitung. Wird dabei nicht auf die Werkstücktemperatur geachtet, kann dies dazu führen, dass die Maße nicht eingehalten werden können.

Alle Halbzeuge aus unserem Hause werden in getempertem und damit spannungsarmem Zustand ausgeliefert. Trotzdem kann es nach der Bearbeitung zu einer Freisetzung von Restspannungen kommen, die das Maß beeinflussen. Ein Beispiel für eine solche Relaxation ist die Beobachtung, dass sich eine dicke Platte, die nur einseitig bearbeitet wurde, nach der Bearbeitung wölbt. Um dies zu vermeiden, sollte eine symmetrische Bearbeitung angestrebt werden.

Für eine maßlich einwandfreie Bearbeitung gelten folgende Regeln:

- kühl arbeiten, damit keine weiteren Spannungen freigesetzt werden
- extrem scharfe Werkzeuge benutzen
- Vibrationen des Werkstückes vermeiden
- Maße erst nach der vollständigen Abkühlung bestimmen
- asymmetrische Bearbeitung vermeiden

3 Dimensions and stress within the material

Often the design of plastic parts poses requirements on tolerances that cannot be met by the materials. The following example serves to illustrate this:

A shaft with a diameter of 150 mm is to be made of POM (coefficient of thermal linear expansion 10^{-4} K $^{-1}$) with a tolerance of ± 0.05 mm. Assuming a turner manages to meet the required dimensions and to adhere to the measuring temperature of 20°C, delivering a shaft with an actual diameter of 150.0 mm. If the shaft is later installed outdoors in bright sunlight, raising the temperature of the shaft to 28°C, the shaft will no longer fit into its bearing because the higher temperature has increased the diameter to 150.12 mm. In comparison, a steel shaft (with a coefficient of thermal linear expansion of $1.2 \cdot 10^{-5}$ K $^{-1}$) would have expanded by only approx. 0.014 mm.

The same considerations apply to machining. If the temperature of the workpiece is not observed, this can result in inaccurate dimensions of the finished product.

Although all our semi-finished products are tempered to relieve as much internal stress as possible, there is still the possibility of residual stresses being relieved after processing, which can affect the dimensions of the product. An example of such relaxation is the bending of a thick plastic sheet that has only been machined on one side. This can be minimized by symmetrical machining.

To ensure accurate dimensions, the following rules should be observed:

- Ensure cool working conditions to avoid relief of further stresses.
- Use very sharp tools.
- Avoid the workpiece vibrating.
- Do not measure the dimensions before the workpiece has completely cooled down.
- Avoid asymmetric machining.

4 Kleben

Das Kleben von Kunststoffen ist immer sehr problematisch. Man unterscheidet hierbei drei verschiedene Verbindungstypen. Die Interdiffusion, ionische Wechselwirkung und die chemische Bindung zwischen den Bauteilen.

Eine direkte chemische Bindung zwischen den Bauteilen ist nur in den seltensten Fällen zu erreichen, da hierzu die Chemie der Bauteile angegriffen werden muss. Bei Bauteilen aus den gleichen Materialien ist eine Interdiffusion möglich. Diese Klebtechnik ist beim extrudierten PA 6 mit einfachen Mitteln möglich, da es sich mit Ameisensäure sehr gut auflösen lässt. Bei allen anderen Materialien ist diese Technik selten machbar, da die notwendigen Lösemittel sehr schwer zu handhaben sind.

Achtung: Ameisensäure ist stark ätzend und greift die Atemwege an

Bei den Klebstoffen unterscheidet man im Prinzip vier Gruppen:

- Cyan-Acrylat-Systeme
- Acrylat-Systeme
- Polyurethan-Systeme
- Epoxy-Systeme

Diese Gruppen unterscheiden sich sowohl in ihrer Verarbeitung als auch in ihren Eigenschaften.

Die handelsüblichen Cyan-Acrylat-Systeme haben den großen Nachteil, dass sie sehr spröde sind. Man erhält zwar mit geringem Aufwand eine sehr feste Bindung, hat aber den Nachteil, dass diese Bindung gegenüber Schlag- und Zugbeanspruchungen relativ empfindlich ist. Der Einsatz ist daher auf Bindungen begrenzt, die bereits durch ihre Konstruktion eine ausreichende Festigkeit mit sich bringen. Es handelt sich also eher um eine Fixierung.

Die Acrylat-Systeme sind etwas elastischer in ihrer Bindung. Man unterscheidet bei diesem System 1-Komponenten-Systeme, die UVgehärtet werden, bereits gemischte 2-Komponenten-Systeme und 2-Komponenten-Systeme, die vor Ort gemischt werden müssen.

Polyurethan-Systeme sind auch relativ günstig, aber in ihrer chemischen Stabilität häufig nicht ausreichend.

4 Bonding

Bonding thermoplastic polymers is always problematic. In general, we distinguish three different types of joints: interdiffusion, ionic interaction and chemical bonding.

Direct chemical bonds between components can very rarely be achieved as this requires manipulating the chemistry of the components. Interdiffusion is possible with components made of the same material. With extruded PA 6, this can be achieved relatively simply by slightly dissolving the surfaces with formic acid. With all other materials, this gluing technique is rarely feasible as the required solvents are difficult to handle.

Caution: Formic acid is very caustic and harmful if inhaled!

Available adhesives can be generally divided into four groups:

- Cyan-acrylate systems
- Acrylate systems
- Polyurethane systems
- Epoxy systems

These systems differ in both their application and their properties.

Commercially available cyan-acrylate systems are relatively easy to apply and produce very strong joints. However, their disadvantage is that these joints are very brittle and relatively vulnerable to impact and tensile stress. Therefore, cyan-acrylate systems should only be used in cases where sufficient strength is provided by the design of the finished part. Hence, this type of joint mainly serves to secure the parts in position.

Acrylate systems provide a more elastic joint. We distinguish between single-component systems, which need to be hardened by UV light, ready-mixed two-component systems, and two-component systems which need to be mixed on site.

Polyurethane systems are also relatively inexpensive, but their chemical stability is often insufficient.

Epoxy-Systeme sind ähnlich vielfältig wie die Acrylat- und die Polyurethan-Systeme. Es gibt Systeme, die kalt- bzw. heiß-härtend sind. Die Standardsysteme sind relativ spröde. Es gibt aber spezielle Systeme, die deutlich elastischer sind.

Der verwendete Klebstoff sollte auf das gesamte System angepasst werden. Dies bedeutet, er muss nicht nur zu den zu verklebenden Materialien passen, sondern auch auf die mechanischen und chemischen (Umwelt-) Einflüsse angepasst sein. Es ist also nicht möglich, für jeden Kunststoff eine eindeutige Empfehlung zu geben. Bei speziellen Problemen sollte der Klebstoffhersteller angesprochen werden. Im Verlag TÜV Rheinland ist in der Reihe „Ingenieurwissen Kunststoffverarbeitung“ ein Marktspiegel Kunststoffkleben erschienen, der Vorschläge für die verschiedenen Klebprobleme macht:

Marktspiegel Kunststoffkleben
Michaeli/Netze/Freitag
Verlag TÜV Rheinland/1991
ISBN 3-88585-965-2

Es lassen sich jedoch einige einfache Grundregeln für das Verkleben von Kunststoffteilen aufstellen:

- Die Flächen müssen sauber und fettfrei sein.
- Wenn möglich, sollten die Flächen aufgeraut werden.
- Wenn es die Konstruktion ermöglicht, sollte die Verbindung noch zusätzlich fixiert werden.
- Die beste Verbindung erhält man, wenn die beiden Teile chemisch miteinander verbunden sind. Ist dies nicht möglich, ist es vorteilhaft, wenn sich die langen Ketten der Kunststoffe von beiden Teilen durchdringen.
- Erst dann sollte die Auswahl auf einen reinen Adhäsionskleber fallen.

5 Drehen

Bei vibrationsarmen Bauteilen (Vollstäben und kurzen Einspannlängen) lässt sich die Oberflächenqualität durch eine Breitschlichtschneide wesentlich verbessern. Bei dünnwandigen Teilen oder Teilen, die in der Drehbank zum Vibrieren neigen, kann dieses Verfahren nicht angewendet werden.

The variety of epoxy systems is similar to that of acrylate and polyurethane systems with cold- and hot-hardening systems being available. The standard systems are relatively brittle, but there are also special systems available that are more elastic.

When choosing an adhesive, the entire system should be taken into account, i.e. the adhesive must not only suit the materials to be joined, but also the mechanical and chemical (environmental) conditions under which it is applied. Hence, it is impossible to give clear recommendations for the most suitable type of adhesive for any given type of thermoplastic polymer. If in doubt, we recommend contacting the manufacturer of the adhesive for advice. The following book contains suggestions for various gluing problems. It is written in such a way that the basics can be understood by non-German speakers:

Marktspiegel Kunststoffkleben
Michaeli/Netze/Freitag
Verlag TÜV Rheinland/1991
ISBN 3-88585-965-2

There are, however, some simple rules for gluing thermoplastic polymers which should be observed:

- The surfaces must be clean and free of grease.
- If possible, the surfaces should be roughened.
- If the construction allows, the joint should be fixed by additional means.
- The best joint is achieved with a chemical bond between the parts.
- If this is not possible, interdiffusion of the long molecular polymer chains of both parts is the second choice.
- Only if chemical or interdiffusion methods are not possible should a purely adhesive joint be considered.

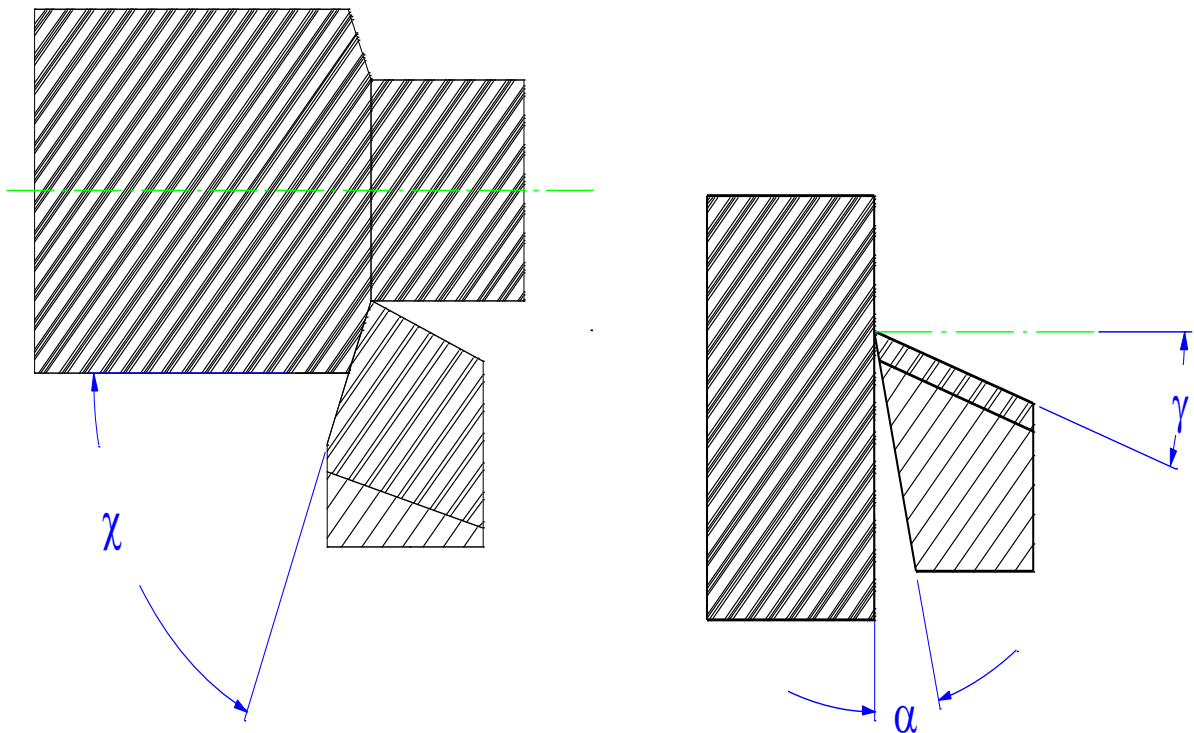
5 Turning

In case of low-vibration parts (massive rods and short clamping lengths) the surface quality can be considerably improved by using a wide smoothing tool. This method cannot be used with thin-walled parts or parts that tend to vibrate within the lathe.

Richtwerte für die Schneidegeometrie und die Bearbeitungsparameter
Recommended values for cutting geometry and machining parameters

Drehen turning			Polyamid Polyamide	Polyacetal	Polyester	Polyolefine Polyolefins	Glasfaserverstärkte Kunststoffe Glass fibre reinforced plastics
Freiwinkel Clearance angle	α	°	6-10	6-8	5-10	6-10	6-8
Spanwinkel Rake angle	γ	°	0-5	0-5	0-5	0-5	2-8
Einstellwinkel Tool cutting edge angle	χ	°	45-60	45-60	45-60	45-60	45-60
Schnittgeschwindigkeit Cutting speed	v	m/min	250-500	300-600	300-400	250-500	150-200
Vorschub Feed rate	s	mm/U mm/rev	0.1-0.5	0.1-0.4	0.2-0.4	0.1-0.5	0.1-0.5

Der Spitzenradius soll, soweit möglich, 0,5 mm betragen.
 The tip radius should be 0.5mm if possible.



6 Fräsen

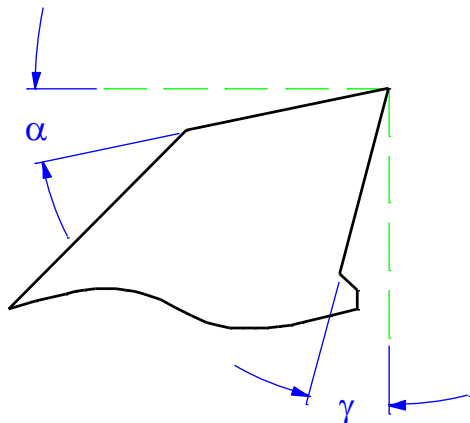
Beim Fräsen muss eine Vibration des Werkstückes vermieden werden. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, ist die Verwendung eines Einschneidenwerkzeuges. Grundsätzlich muss darauf geachtet werden, dass der Späneraum möglichst groß ist.

6 Milling

Any vibration of the workpiece during milling must be avoided. This can be achieved by using a one-edged tool. The space for the chips should generally be kept as large as possible.

Fräsen milling			Polyamid Polyamide	Polyacetal	Polyester	Polyolefine Polyolefins	Glasfaserverstärkte Kunststoffe Glass fibre reinforced plastics
Freiwinkel Clearance angle	α	°	10-20	5-15	5-15	10-20	15-30
Spanwinkel Rake angle	γ	°	5-15	5-15	5-15	5-15	6-10
Schnittgeschwindigkeit Cutting speed	v	m/min	250-500	250-500	300	250-500	80-100
Freiwinkel Clearance angle	α	°	10-20	5-15	5-15	10-20	15-30
Spanwinkel Rake angle	γ	°	5-15	5-15	5-15	5-15	6-10

Der Vorschub kann bis 0,5 mm/Zahn betragen
The feed rate can be up to 0.5mm/tooth.



7 Bohren

Der Drallwinkel β des Bohrers soll ca. 12 bis 16° betragen. Beim Vorbohren kann der Vorschub auch wesentlich höher sein, bis zu 1 mm/U.

Die oben genannten Werte stellen Standardwerte dar, die wir mit eigenen Erfahrungen ergänzt haben. Hierbei hat sich gezeigt, dass es sinnvoll ist, den Anschlag des Bohrers so zu modifizieren, dass sich der Bohrer nicht ins Material zieht. Dies kann durch einen negativen Anschlag des Spanwinkels erreicht werden. Außerdem ist es möglich, den Spitzenwinkel auf dem Wert kommerzieller Bohrer zu lassen, wenn es sich um dickwandigere Teile handelt.

Besonders bei Rundstäben mit großem Durchmesser kann es notwendig sein, vor dem Bohren das Halbzeug zu erwärmen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass das Halbzeug komplett durchgewärmt ist. Dieser Prozess kann mehrere Stunden dauern. In der Praxis hat sich folgende Faustregel bewährt:

Ofentemperatur:	100-120°C
Erwärmungszeit:	pro 10 mm zu durchdringendes Material 2 Stunden bei der Richttemperatur

Beispiel:

Ein Rundstab von 200 mm Durchmesser soll durchgewärmt werden. Nach der oben aufgeführten Regel würde der Stab 20 Stunden im Ofen bleiben.

Dieser Vorgang hat nichts mit dem sonst oft angesprochenen Tempern zu tun, sondern er dient nur der Erwärmung des Bauteils.

7 Drilling

The twist angle β of the drill bit should be 12 to 16°. For pilot-drilling, the feed rate can be much higher, i.e. up to 1 mm/rev.

The values given are standard values supported by our own experience. It has proved sensible to modify the drill bit in such a way that the drill is not drawn into the material. This can be achieved by adding a negative rake angle (see picture). For thick-walled parts, it is possible to leave the point angle at the value of commercial drills.

Round rods with a large diameter may need to be heated prior to drilling. Doing so, it must be ensured that the part is thoroughly heated, which may take several hours. In practice, the following rule has proved useful:

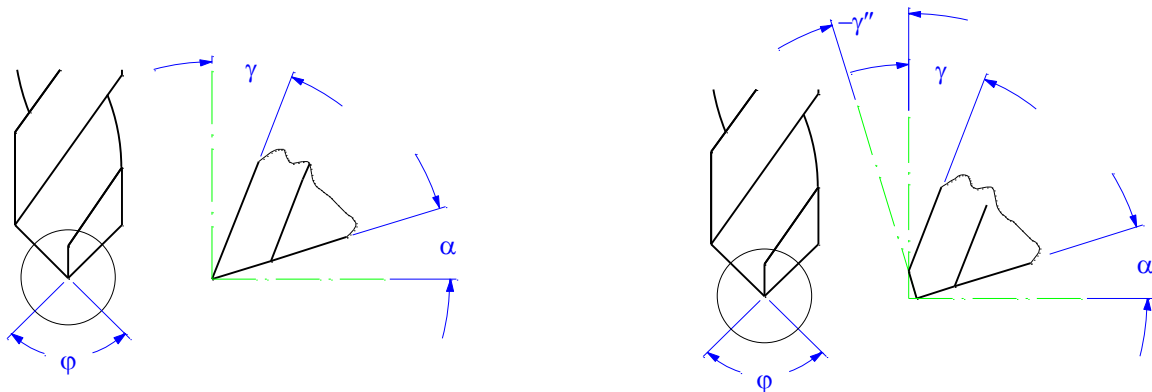
Furnace temperature:	100-200 °C
Heating time:	2 hours per 10 mm material at the recommended temperature

Example:

A round rod with a diameter of 200 mm is to be heated thoroughly. According to the above rule, the rod has to remain in the furnace for 20 hours.

This process only serves to heat the component for subsequent machining and has nothing to do with the aforementioned tempering.

Bohren drilling			Polyamid Polyamide	Polyacetal	Polyester	Polyolefine Polyolefins	Glasfaserverstärkte Kunststoffe Glass fibre reinforced plastics
Freiwinkel Clearance angle	α	°	5-15	5-10	5-10	5-15	6
Spanwinkel Rake angle	γ	°	10-20	15-30	10-20	10-20	5-10
Spitzenwinkel Point angle	φ	°	90	90	90	90	120
Schnittgeschwindigkeit Cutting speed	v	m/min	50-150	50-200	50-100	50-150	80-100
Vorschub Feed rate	s	mm/U mm/rev	0,1-0,3	0,1-0,3	0,2-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3



8 Sägen

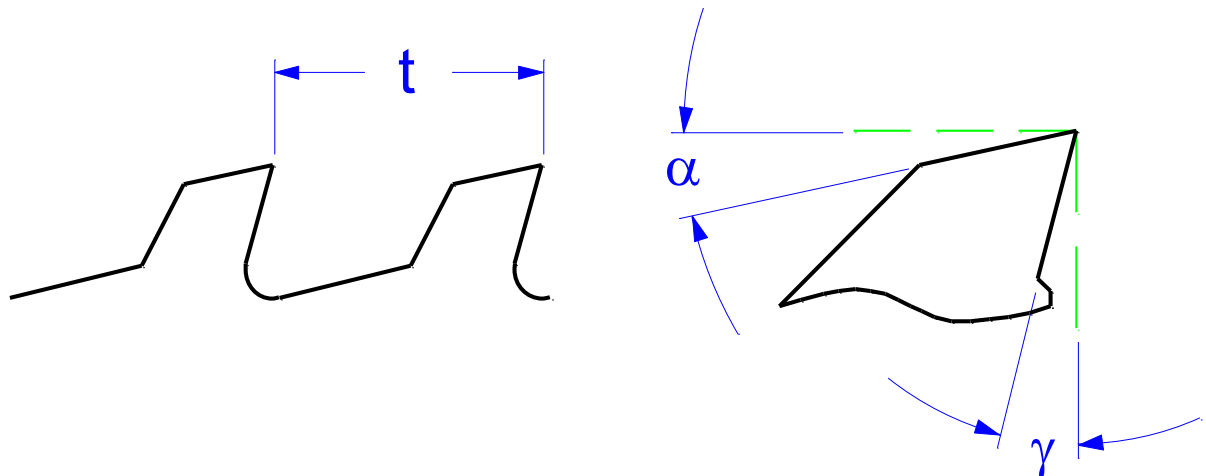
Beim Sägen ist, wie allgemein beim Bearbeiten von Kunststoffen, darauf zu achten, dass die Wärmeentwicklung möglichst gering ist. Dies wird durch sehr gut geschärfte und stark geschränkte Werkzeuge erreicht.

8 Sawing

Generally, the generation of heat should be kept to a minimum when processing plastic material. This can, for example, be achieved by using very sharp saw blades with a low tooth count.

Richtwerte für die Schneidegeometrie und die Bearbeitungsparameter Recommended values for cutting geometry and machining parameters

Sägen sawing			Polyamid Polyamide	Polyacetal	Polyester	Polyolefine Polyolefins	Glasfaserverstärkte Kunststoffe Glass fibre reinforced plastics
Freiwinkel Clearance angle	α	°	20-30	20-30	15-30	20-30	15-30
Spanwinkel Rake angle	γ	°	2-5	0-5	5-8	2-5	10-15
Schnittgeschwindigkeit Cutting speed	v	m/min	500	500-800	300	500	200-300
Zahnteilung Pitch	t	mm	3-8	2-5	3-8	3-8	3-5





9 Gewinde

Für das Schneiden von Gewinden gelten die allgemeinen Hinweise zum Bearbeiten von Kunststoffen. Bei uns im Hause haben sich Gewindeformplatten als effektives Werkzeug erwiesen. Bei der Verwendung von Gewindebohrern sollte das elastische Verhalten des Kunststoffes beachtet werden, da dies dazu führen kann, dass mit einem gewissen Aufmaß gearbeitet werden muss.

9 Threads

The same general recommendations that apply for the processing of plastic materials also apply to thread-cutting. Within our company, thread formers have proved very effective tools. When using taps, the elastic behaviour of the plastic should be taken into account as this may require a certain amount of overmeasur