

## La rectification plane double face dans l'horlogerie

*La zone de rectification et son incidence sur la précision d'usinage visée et sur la finition - L'inclinaison : une grandeur déterminante. Les différents procédés d'avance et leurs conséquences sur la zone de rectification et l'usure des outils de rectification*



Dans le cas de la rectification plane double face, l'usinage s'effectue dans une zone fermée non visible, contrairement à la rectification plane circonférentielle où l'état de surface conféré à la pièce est obtenu au moyen d'une fente de rectification. Cette zone de rectification est délimitée par les faces avant des meules situées l'une en face de l'autre et par les réceptacles du dispositif de transport des pièces. Sur les machines dotées de broches verticales – qui sont celles utilisées généralement pour les pièces plates –, ce transport est réalisé dans des « disques de transport » ou des masques. En rectification continue, ces derniers déplacent les pièces en continu dans la zone de rectification, ce déplacement étant guidé par la géométrie des réceptacles.

### Principe du procédé en continu

Les pièces ne sont pas maintenues en serrage et ne sont influencées que par la légère force d'avance qui s'exerce perpendiculairement à la force d'usinage. Les forces d'avance  $F_v$  et forces transversales  $F_t$  qu'on observe ici sont faibles par comparaison à la force  $F_a$  qui s'exerce normalement sur la surface à rectifier (le rapport de  $F_a/F_t$  est de 5 environ et celui de  $F_v/F_t$  est de 3 environ). Durant l'usinage, les pièces ne sont pas fixées dans les réceptacles, au contraire il y a un peu de jeu. Dans la zone de rectification, l'enlèvement de matière s'effectue simultanément sur l'ensemble de la surface de la pièce en contact avec les faces avant des meules, et il est fonction du rétrécissement homogène de la zone de rectification dans le sens de l'avance ou des outils de rectification positionnés parallèlement. Les pressions de rectification qui s'exercent sur la pièce ont un effet opposé et s'annulent dans le meilleur des cas sur toute la section transversale de la pièce. On peut également parler ici de rectification simultanée en appui.

### L'inclinaison détermine la forme de la zone de rectification.

Il existe une inclinaison nominale et une inclinaison réelle. L'inclinaison réelle est le positionnement des broches de rectification l'une par rapport à l'autre qui résulte de la déformation imputable aux forces du process. Les disques de support, les broches de rectification et le bâti de la machine sont déformés en particulier par la force axiale du process. C'est donc au centre des meules que la zone de rectification est la plus rigide. Sur les bords, la rigidité axiale est moindre,

du fait de la rigidité à la flexion des broches de rectification et des disques de support.

Etant donné que la force axiale est variable entre les grains suivant l'arrondi de leurs arêtes et l'addition de compartiments à copeaux, il est particulièrement important pour la rectification plane double face que la rigidité axiale soit élevée et surtout que la rigidité à la flexion de la machine et des porte-outils soit élevée. La zone principale d'usinage et le point d'attaque de la force axiale élevée ne se situent pas au centre des outils de rectification mais à une distance de ce centre qui dépend de la configuration. La conception des dernières machines Diskus prend en compte ces exigences de base.

Pour aider à mieux comprendre, le paragraphe ci-après décrit comment Diskus définit l'épaisseur, le parallélisme et la planéité des pièces planes que l'entreprise rectifie.

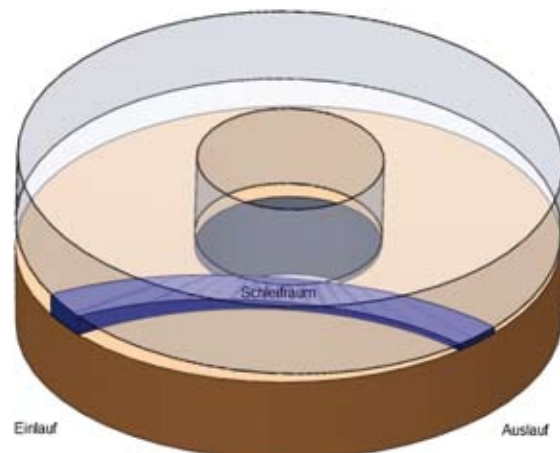
Dans le cas de pièces planes, la cote de rectification ou l'épaisseur sont liées à la planéité et au parallélisme des surfaces latérales de ces mêmes pièces. Pour Diskus, l'épaisseur est obtenue à partir de la moyenne arithmétique de 4 mesures d'épaisseur effectuées en des points différents. La cote d'écart de parallélisme correspond à l'écart le plus important entre ces 4 mesures d'épaisseur.

Pour les pièces qui ne peuvent pas tourner pendant l'opération de rectification du fait de leur géométrie, le parallélisme dépend également de la fenêtre de sortie. La planéité est calculée à partir du plus gros écart de distance par rapport à un plan de référence. La planéité obtenue dépend aussi des conditions d'entrée et de sortie au bord de la zone de rectification ainsi que des déformations de la pièce pendant l'usinage. Il se peut que des traces de rectification apparaissent, traces qui ne pourront plus être effacées avant l'obtention de la cote finale.

### L'inclinaison a également une incidence sur la forme d'usure des outils de rectification

Il faudrait idéalement que l'usure de la zone de rectification soit régulière. Suivant les différents procédés, on constate néanmoins qu'à certains endroits, le grain est particulièrement sollicité. En outre, la vitesse de coupe et la dureté des outils de l'intérieur vers l'extérieur varient en fonction des différentes vitesses circonférentielles. Dans la zone du perçage, le débord et la géométrie extérieure de la pièce peuvent entraîner une usure particulière.

L'usure de la zone de rectification peut s'équilibrer un peu si les outils de rectification sont adaptés à la structure lors de leur conception.



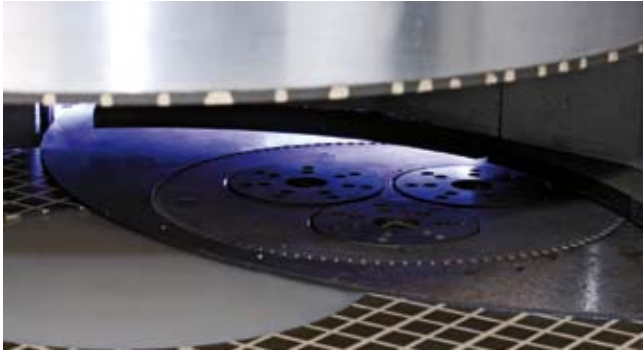
Principe du procédé en continu.

*Prinzipielle Darstellung des Durchlaufverfahrens.*

L'usinage est réparti sur une zone relativement importante de l'entrée à la sortie de la surface d'action des meules. L'enlèvement de matière s'effectue sur une surface importante, ►

il est donc très soigné. Les différences de matériau ou de rigidité de structure à la surface de la pièce à rectifier sont compensées par l'attaque plane.

La chaleur relativement faible produite lors de l'opération d'usinage est également répartie sur la surface de la pièce et n'entraîne généralement pas de déformations ni de traces de rectification sur les pièces. Les outils de rectification voire la zone de rectification ne se déforment pas sous l'effet de la chaleur. Il n'est donc pas nécessaire d'équilibrer la température des disques de support des outils de rectification. Cela constitue une condition essentielle de maintien d'une précision d'usinage élevée.



Vue sur la zone de rectification d'une rectifieuse plane double face configurée pour la rectification en plongée avec des outils CBN.

*Blick in den Schleifraum einer Seiten-Planschleifmaschine eingerichtet für das Einstechschleifen mit CBN Schleifwerkzeugen.*

### Entrée ouverte – Rectification continue avec inclinaison négative

La plupart du temps, les broches de rectification sont inclinées de manière telle que la fente de rectification se rétrécit dans le sens de la sortie. Lorsque l'inclinaison des broches de rectification est négative et que les deux faces avant des meules sont dressées de manière rectiligne, les pièces traversent sur leur voie une zone de rectification qui se réduit uniformément suivant une forme cônique.

En rectification continue, l'axe supérieur de la broche est incliné en direction de l'axe inférieur.

La face avant inférieure est généralement rectiligne et est alignée avec le plan de glissement de la pièce tel qu'il est constitué par les plateaux de la machine.

Le réglage de l'inclinaison dépend de l'opération d'usinage à effectuer et correspond généralement à la surcote moyenne. L'inclinaison négative se situe généralement entre 0,05 et 0,08mm.

Les pièces avec une surcote maximale forment ici un chanfrein d'entrée du fait de l'augmentation du volume de copeaux. L'arête supérieure de la fenêtre d'entrée est également l'arête supérieure de l'arête de sortie déterminant l'aspect fini. L'accroissement du chanfrein d'entrée a une incidence sur la finition et sur la planéité obtenue.

L'endroit le plus étroit se situe au niveau de la fenêtre de sortie. C'est ici qu'on obtient la cote de rectification pour ce réglage de l'inclinaison. Le fini obtenu avec ce réglage est un fini rayonné orienté si les contours extérieurs n'autorisent pas de rotation libre de la pièce pendant l'usinage. En horlogerie, on a recours à ce réglage lorsque les pièces peuvent être accrochées l'une à l'autre et l'on obtient ainsi un fini orienté. Dans le cadre de ce procédé et avec un tel réglage de l'inclinaison, la géométrie de la zone de rectification et la vitesse d'avance déterminent la vitesse d'enlèvement de matière et la précision de la pièce usinée.

En rectification continue simple, la vitesse d'approche résulte de la forme de la zone de rectification et de la vitesse d'avance de la pièce.

### Forme spéciale avec inclinaison négative pour „ébauches“

En profilant la face avant supérieure de l'outil de rectification, il est possible de répartir la zone de rectification en plusieurs zones présentant chacune un rétrécissement conique

différent. Une zone à dégrossir présentant un effilement conique à angle obtus est alors suivie d'une zone de planage très plane. On obtient cela lorsque la face avant de la meule supérieure présente une forme conique bombée adaptée à l'inclinaison par rectification du profil. Initialement issue de l'industrie horlogère, cette forme de zone de rectification est utilisée pour les pièces délicates, notamment destinées à ce secteur. Du fait de la forme de la zone de rectification, la zone où la force axiale issue du process d'usinage s'exerce le plus à l'endroit le plus rigide de la machine dans le sens axial se situe à proximité du centre des meules. L'usure des meules est donc davantage localisée au niveau du centre des meules. Une adaptation optimale des outils de rectification permet également d'obtenir un fini orienté avec cette forme de zone de rectification.

Pour réaliser des géométries plus complexes de zones de rectification, l'interaction entre l'inclinaison et le dressage est d'une importance décisive.

Pour aider le régleur lors du profilage de la zone de rectification sur les machines Diskus lorsque la forme de cette zone est un peu plus compliquée, un programme a été développé. Il permet de visualiser la zone de rectification issue du réglage nominal de l'inclinaison et de la face avant obtenue après profilage. Le PC affiche ainsi une forme composée de zone de rectification qui aide au réglage.

Dans cette zone de rectification, l'usinage s'effectue également sans l'incidence de forces de serrage déformantes. Les tensions internes sur les bords des pièces dues à un pré-traitement sont libérées et la matière correspondant aux déformations qui en résultent est enlevée.

Les géométries complexes sont serrées entre les outils de rectification même lors du planage et ce jusqu'à leur sortie de la zone de rectification. De ce fait, les géométries dotées de nervures étroites filigranes ne peuvent pas être déformées en cours d'usinage. La pièce quitte la zone de rectification au niveau de la fenêtre de sortie sans aucune déformation. Sa cote de rectification lui est conférée dans cette zone très étroite.

Ce réglage provient initialement de l'horlogerie suisse et porte donc ce nom chez Diskus. Au départ, les machines étaient utilisées manuellement pour cette forme de zone de rectification. La forme de la zone résultait de la disposition de l'installation de dressage par rapport à la fenêtre d'entrée et de sortie. Cela a été pour Diskus l'une des motivations essentielles pour introduire la commande numérique. Le pilotage des axes d'amenée et de l'axe de dressage permet de profiler les faces avant des outils de rectification mais également de les affûter et de les nettoyer correctement avec des équipements spéciaux.

### Entrée fermée – Rectification continue avec inclinaison positive

Dans cette configuration, la circonférence des outils de rectification est très impliquée dans le procédé d'usinage. La sollicitation des grains sur l'arête d'entrée est très élevée. Le grain s'émousse rapidement et les forces d'usinage dépassent la force d'adhésion du grain. Le grain se casse et l'arête perd de son tranchant, ce qui s'accompagne d'un accroissement du volume de copeaux jusqu'au centre des meules. La zone de rectification s'apparente alors de plus en plus à celle à laquelle on a affaire lorsque l'inclinaison est négative. La force principale de pression s'exerce davantage ici en direction de l'entrée. Du fait des forces axiales importantes qui s'exercent de l'entrée vers la sortie, la machine est en pré-tension. Les variations de pression à l'entrée dues à une surcote différente modifient moins la hauteur et le parallélisme à la fenêtre de sortie qu'avec une configuration avec inclinaison négative. Les oscillations indésirables des ébauches s'éliminent plus rapidement.

La rupture des grains puis l'émoussement des arêtes de coupe et l'augmentation du volume de copeaux réduisent la rugosité obtenue sur les pièces, pourtant initialement élevée.

Du fait de la sollicitation des grains et du liant sur une zone étroite au niveau des arêtes d'entrée des outils de rectification, il se forme un chanfrein d'entrée. La zone de rectification devient alors un canal qui se rétrécit. Il résulte de cette

configuration une zone de rectification incluant elle-même une zone conique se rétrécissant vers le milieu. Certaines géométries d'ébauches nécessitent cette configuration. La formation des chanfreins d'entrée peut également s'effectuer par profilage.

**Configuration parallèle inclinaison neutre, rectification en plongée, rectification continue en plongée**

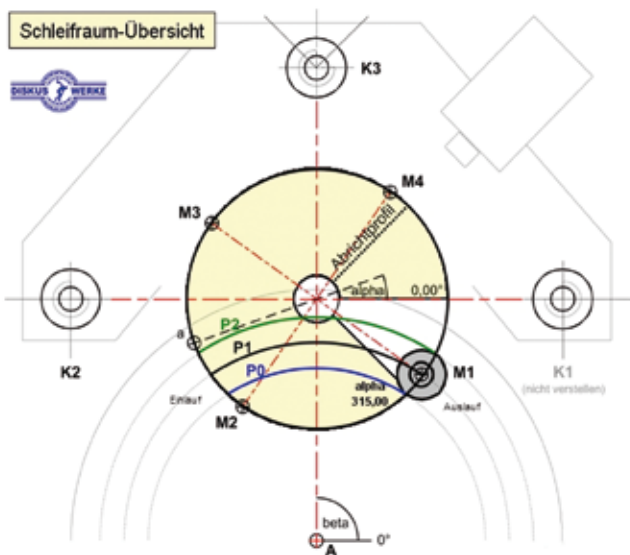
Avec l'inclinaison 0, c'est-à-dire lorsque les outils de rectification sont positionnés parallèlement l'un par rapport à l'autre, on obtient la distance la plus petite possible entre les faces avant des outils à la fin du mouvement des broches. Ainsi, la cote finale n'est pas obtenue par la traversée d'une fente mais par les outils positionnés parallèlement dans la zone de rectification. La pièce est serrée de manière plane lorsque la cote finale entre les deux surfaces de rectification de la zone est atteinte. Cette configuration est utilisée pour la rectification en plongée (rectification plane transversale) avec cinématique planétaire et la rectification continue en plongée (combinaison de rectification plane longitudinale et transversale). Il en résulte un fini en croix avec des traces dont le croisement est uniforme. Les arêtes de coupe des grains de rectification balaient la surface de la pièce dans différentes directions. On obtient ainsi une qualité de surface relativement élevée, même lorsque le grain est assez grossier. Cette configuration permet d'obtenir des précisions très élevées. Le processus de rectification et l'usure des outils peuvent être adaptés au comportement de la pièce grâce à une vitesse d'approche et à une vitesse d'angle variables des disques de transport pendant l'approche. Avec cette configuration, des surcotes plus importantes de plusieurs mm sont possibles tout en parvenant à un niveau de précision final élevé. Il convient ici d'être attentif au comportement d'usure des outils au poste de finition. Le positionnement de l'angle et le mouvement d'approche des outils ont une incidence importante sur la déformation de la zone de rectification.

Avec les outils conventionnels, le fameux effet d'auto-affûtage peut également être important. Il s'agit du comportement selon lequel les forces de rectification augmentent au niveau de chaque grain du fait des arêtes émoussées de ces grains et dépassent les forces d'adhésion des grains. Il arrive alors souvent qu'on assiste à la rupture plane des grains émoussés et à la libération de nouvelles arêtes de coupe. L'outil de rectification s'est lui-même affûté. L'idéal ici est qu'il n'y ait pas de changement incessant de la zone de rectification et que le résultat d'usinage demeure dans la plage de tolérances prévue pour la pièce. Cela peut être utilisé pour former un chanfrein d'entrée. Ainsi, on n'a plus besoin d'opérations supplémentaires de profilage ni d'affûtage. Avec des géométries initiales optimales, les outils de rectification peuvent être exploités depuis le premier profilage jusqu'à épuisement de l'ensemble du volume de l'outil de rectification sans profilage intermédiaire. Cette configuration est donc extrêmement économique. On ne parvient toutefois à l'obtenir qu'au terme d'une longue période d'optimisation pour de très grandes tailles de lots. Cela n'est possible qu'après l'expérimentation de volumes de production très importants au moyen d'outils optimisés. Cet effet peut être obtenu sur des machines équipées de broches horizontales et d'une zone de rectification symétrique avec des outils dont les faces avant sont disposées en vis-à-vis, bombées et coniques. Du fait des pressions de rectification variables, les précisions que l'on peut obtenir sont limitées.

Les niveaux de précision les plus élevés ne peuvent être obtenus qu'avec des outils qui ne cassent pas. Leur forme est conservée longtemps. Ils doivent toutefois être au moins affûtés, en raison de l'émoussement des grains et de l'augmentation de pression qu'il entraîne. Cela a entraîné très vite l'usage – devenu très fréquent aujourd'hui – d'outils CBN pour ce procédé.

**Résumé**

En rectification plane double face, la zone de rectification détermine la précision d'usinage dans son ensemble, et plus particulièrement sa forme réelle qui résulte de la pression de rectification et de l'usure. L'inclinaison réelle est une grandeur essentielle pour ce procédé de rectification. Elle définit le positionnement l'une par rapport à l'autre des faces avant des outils qui réalisent l'usinage et confèrent donc à la pièce sa forme finale.



Corrélation entre l'inclinaison (K1, K2, K3), le convoyage de la pièce (P0, P1, P2) et le mouvement de dressage.

Zusammenhang von Tiltung (K1, K2, K3), Werkstückbahn (P0, P1, P2) Und Abrichtbewegung.

Un planage de détente peut également être réalisé avec la vitesse d'approche qui varie en fonction de la course. En rectification plane double face, l'approche est généralement commandée par la course et non par la force. Pour pouvoir utiliser les arêtes de coupe des grains de rectification, les outils de rectification doivent être amenés de la même manière que pour la rectification en plongée ou continue en plongée. Les deux broches sont alors alignées, les outils sont positionnés en parallèle et sont amenés lorsque les pièces se trouvent en position de plongée.

**Doppelseitigen Seitenplanschleifen in der Uhrenindustrie**

*Der Schleifraum und sein Einfluss auf die erreichbare Bearbeitungsgenauigkeit und das Schlibbild Die Tiltung - eine bestimmende Größe. Die verschiedenen Vorschubverfahren und ihre Auswirkungen auf den Schleifraum und den Verschleiß der Schleifwerkzeuge.*

Bei dem doppelseitigen Seiten-Planschleifen erfolgt die Zerspanung in einem geschlossenen nicht einsehbar Schleifraum. Im Gegensatz dazu erzeugt beim Umfangs-Planschleifen ein Schleifspalt eine Fläche des Werkstückes. Dieser Schleifraum wird abgegrenzt durch die sich gegenüberstehenden Stirnseiten von Schleifscheiben und den Aufnahmetaschen der Transporteinrichtung für die Werkstücke. Bei Maschinen mit senkrechten Schleifspindeln, wie sie für flache Werkstücke in der Regel eingesetzt werden, erfolgt dieser Transport in sogenannten Transportscheiben oder Masken. Mit ihnen werden die Werkstücke bei dem Durchlaufschleifverfahren kontinuierlich über die Taschengometrie durch den Schleifraum bewegt.



## Prinzipielle Darstellung des Durchlaufverfahrens

Sie sind dabei ungespannt und werden nur durch die geringe Vorschubkraft quer zur Zerspankraft beeinflusst. Die dabei auftretenden Vorschubkräfte  $F_v$  und Querkräfte  $F_t$  sind gering im Verhältnis zu der normal auf die Schleiffläche wirkende Kraft  $F_a$  ( $F_a/F_t$  ca. 5 bzw.  $F_v/F_t$  ca. 3). Die Werkstücke liegen während der Zerspannung lose mit etwas Spielraum in diesen Aufnahmetaschen. Im Schleifraum erfolgt der Materialabtrag gleichzeitig auf den gesamten, die Schleifscheibenstirnseiten berührenden Werkstückflächen, bedingt durch den sich gleichmäßig in Vorschubrichtung verjüngenden Schleifraum oder durch parallel zugestellte Schleifwerkzeuge.

Die auf das Werkstück einwirkenden Schleifdrücke wirken gegenseitig auf das Werkstück und heben sich damit im Idealfall bei vollem Werkstückquerschnitt auf. Man kann auch hier von einem simultanen Stützsleifen sprechen.

## Die Tiltung bestimmt die Form des Schleifraumes.

Es gibt eine nominale Tiltung und eine reale Tiltung. Die reale Tiltung ist die Stellung der Schleifspindeln zueinander, die sich neben der nominalen Tiltung auch durch die zusätzlich durch die Prozesskräfte bedingte Verformung ergibt. Die Tragscheiben, die Schleifspindeln und das Maschinengestell werden besonders durch die axial wirkende Prozesskraft verformt. Der Schleifraum ist daher im Bereich der Schleifscheibenmitte am Steifsten. An den Rändern ist die Axialsteifigkeit durch die Biegesteifigkeit der Schleifspindeln und der Tragscheiben geringer.

Da sich die Axialkraft, bedingt durch die Kantenverrundung der Schleifkörner und Zusetzen der Spanräume zwischen den Schleifkörnern ändert, kommt es zu einer hohen Axialsteifigkeit und vor allem einer hohen Biegesteifigkeit von Maschine und Werkzeugträger beim Planseitenschleifen besondere Bedeutung zu. Die Hauptzerspanzone und damit der Kraftangriffspunkt der großen Axialkraft liegt nicht im Zentrum der Schleifwerkzeuge sondern je nach Einstellung mit Abstand außerhalb der Mitte. Die neuesten Diskus Maschinen wurden unter Beachtung dieser Grundforderungen konzipiert. Zum besseren Verständnis sei hier beschrieben, wie Diskus die Dicke, die Parallelität und die Ebenheit von Diskus geschliffenen flächigen Werkstücken definiert werden.

Das Schleifmaß bzw. die Dicke des Werkstückes ist bei flächigen Werkstücken auch mit den Ebenheiten und der Parallelität der Seitenflächen der Werkstücke verbunden. Die Dicke ergibt sich für Diskus aus dem arithmetischen Mittelwert von 4 Dickenmessungen an unterschiedlichen Stellen. Das Maß für die Parallelitätsabweichung ergibt sich aus der größten Differenz dieser 4 Dickenmessungen.

Bei Werkstücken, die geometriebedingt während der Schleifbearbeitung nicht rotieren können, ist das Auslauflfenster auch für die Parallelität des Werkstückes verantwortlich. Die Ebenheit ergibt sich aus der größten Differenz des Abstandes zu einer Bezugsebene. Für die erreichte Ebenheit sind auch die Ein- und Auslaufbedingungen am Schleifraumrand sowie auch Werkstückverformungen während der Zerspannung von Einfluß. Es kann zu sogenannten Anschliffen kommen, die bis zum Erreichen des Endmasses nicht mehr abgetragen werden können.

## Durch die Tiltung wird auch die Verschleißform der Schleifwerkzeuge beeinflusst.

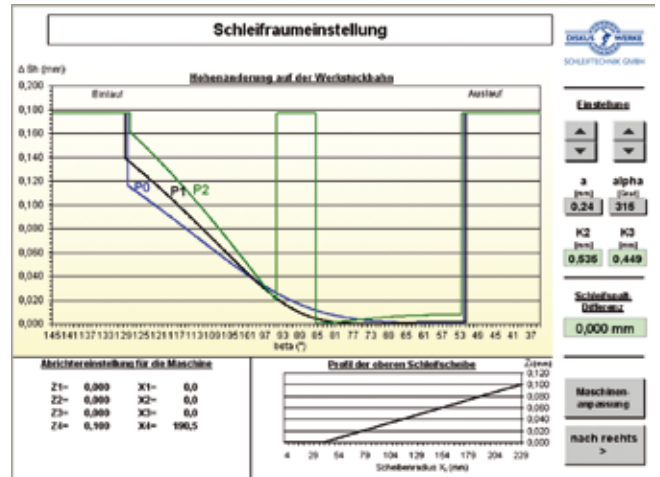
Im Idealfall sollte der Schleifraum gleichmäßig verschleissen. Bei den verschiedenen Verfahren gibt es jedoch Stellen mit besonderer Kornbelastung. Zudem ist die Schnittgeschwindigkeit und damit die Schleifwerkzeughärte von innen nach außen, bedingt durch die unterschiedlichen Umfangsgeschwindigkeiten, verschieden. Im Bohrungsbereich kann der Überlauf und die Werkstückaußengeometrie zu besonderem Verschleiß führen.

Durch im Aufbau und der Struktur angepasste Schleifwerkzeuge lässt sich der Verschleiß des Schleifraumes etwas vergleichmäßigen.

Die Zerspannung wird über eine größere Strecke vom Einlauf bis zum Auslauf der Scheibenwirkfläche verteilt. Der Materialabtrag erfolgt auf einer großen Fläche und ist damit sehr schonend. Unterschiede im Werkstoff oder der

Gestaltsteifigkeit in der zu schleifenden Werkstückfläche werden durch den flächigen Eingriff ausgeglichen.

Die bei dem Zerspanprozess entstehende relativ geringe Wärme wird ebenfalls flächig auf das Werkstück verteilt und führt in der Regel nicht zu Verformungen und daraus resultierenden Anschliffen an den Werkstücken. Die Schleifwerkzeuge, besser der Schleifraum, verformt nicht wärmebedingt. Die Tragscheiben der Schleifwerkzeuge müssen somit nicht temperiert werden. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für eine gleichbleibende hohe Bearbeitungsgenauigkeit gegeben.



Modification de la hauteur de la zone de rectification et profil de dressage pour la réalisation d'ébauches.

Schleifraumhöhenänderung und Abrichtprofil für einen „ebauches“ Schleifraum.

## Einlauf offen - Tiltung-negativ-Durchlaufschleifen

Meist sind die Schleifspindeln so getiltet, dass sich der Schleifspalt zum Auslauf hin verjüngt.

Die Werkstücke durchlaufen auf ihrer Bahn dabei bei negativ getilteten Schleifspindeln mit den beiden gerade abgerichteten Schleifscheibenstirnseiten einen sich gleichmäßig keilförmig verjüngenden Schleifraum.

Bei dem Durchlaufschleifverfahren ist die obere zur unteren Schleifspindelachse geneigt (Der Begriff tilten kommt aus dem englischen und bedeutet neigen). Die untere Stirnseite ist in der Regel gerade und fluchtet mit der Werkstückgleitenebene, wie sie von den Tischplatten der Maschine gebildet wird.

Die Einstellung der Tiltung ist von der jeweiligen Bearbeitungsaufgabe abhängig und entspricht meist dem mittleren Aufmaß. Ein üblicher Wert für eine negative Tiltung liegt zwischen 0.05 und 0.08mm.

Die Werkstücke mit maximalem Aufmaß bilden hierbei, mit zunehmendem Spanvolumen, eine Einlaufschräge aus. Die obere Kante des Einlauflfensters ist auch die obere Kante der das Schliffbild bestimmende Auslaufkante. Mit zunehmender Einlaufschräge wird damit auch das Schliffbild beeinflusst sowie auch die erreichte Ebenheit beeinflusst.

Am Auslauflfenster liegt die engste Stelle. Hier wird bei dieser Tiltungseinstellung das Schleifmaß erreicht. Das Schliffbild bei dieser Einstellung ist ein Strahlenschliff mit gerichtetem Schliffbild, wenn die Außenkontur keine freie Rotation des Werkstücke während der Zerspannung erlaubt. In der Uhrenindustrie wird diese Einstellung angewendet, wenn die Werkstücke sich verhaken können und somit zu einem gerichtetem Schliffbild erzeugt wird.

Die Geometrie des Schleifraumes und die Vorschubgeschwindigkeit bestimmen bei diesem Verfahren und dieser Tiltungseinstellung die Geschwindigkeit des Materialabtrages und die Genauigkeit des bearbeiteten Werkstückes. Bei dem einfachen Durchlaufverfahren ergibt sich die Zustellgeschwindigkeit aus der Form des Schleifraumes und aus der Geschwindigkeit der Werkstückvorschubbewegung.

### **Sonderform bei negativer Tiltung „ebauches“**

Durch eine entsprechende Profilierung der oberen Schleifwerkzeugstirnseite lässt sich der Schleifraum aufteilen in Zonen mit unterschiedlich starker Keilverjüngung. Einer Schrappzone mit steiler Keilverjüngung folgt dann eine sehr flache Ausfeuerzone. Erreicht wird dies durch eine der Tiltung durch den Profilierungsvorgang angepasste ballige Konusform der oberen Schleifscheibenstirnseite. Ursprünglich aus der Uhrenindustrie stammend wird diese Schleifraumform für die empfindlichen Werkstücke besonders dieser Industrie eingesetzt. Durch die Schleifraumform ist hierbei auch der Eingriffsbereich der größten Axialkraft aus dem Zerspanprozess in die axial steifste Stelle der Maschine in der Nähe der Schleifscheibenmitte gelegt. Der Verschleiss der Schleifscheiben wird damit allerdings auch mehr zur Schleifscheibenmitte hin verlagert. Durch optimal angepasste Schleifwerkzeuge kann auch mit dieser Schleifraumform ein gerichtetes Schliffbild erzeugt werden.

Zur Erzeugung komplizierterer Schleifraumgeometrien kommt dem Zusammenspiel von Tiltung und Abrichtvorgang entscheidende Bedeutung zu.

Um bei der Schleifraumprofilierung an Diskus-Maschinen gerade bei etwas komplizierteren Raumformen den Einrichter zu unterstützen, wurde ein Programm entwickelt, dass aus der nominalen Tiltungseinstellung und der durch den Profilierungsvorgang erzeugten Stirnfläche sich ergebenden Schleifraum den Schleifraum darstellt. Am PC kann hiermit eine zusammengesetzte Schleifraumform als Einstellungsunterstützung dargestellt werden.

Die Zerspanung erfolgt auch bei diesem Schleifraum ohne Einfluss von verformenden Einspannkräften. Frei werdende Eigenspannungen in den Randzonen der Werkstücke durch eine Vorbehandlung werden freigesetzt und die sich ergebenden Verformungen, die aus den frei werdenden Spannungen resultieren, werden abgetragen.

Komplexe Geometrie werden zwischen den Schleifwerkzeugen auch noch beim Ausfeuern bis zum Auslauf im Schleifraum flächig eingespannt. Geometrien mit schmalen filigranen Stegen können dadurch während der Zerspanung nicht verformt werden. Das Werkstück verlässt unverformt den Schleifraum am Auslaufenster. Das Schleifmaß erhält es in diesem engsten Bereich.

Diese Einstellung stammt ursprünglich aus der Schweizer Uhrenindustrie und trägt daher bei Diskus diesen Namen. Am Anfang waren die Maschinen für diese Schleifraumform manuell bedient. Die Schleifraumform ergab sich aus der Anordnung der Abrichteinrichtung zu Ein- und Auslaufenster.

Dies war für Diskus einer der wesentlichsten Ansporn für die Einführung der CNC Steuerung. Durch gesteuertes Verfahren der Zustellachsen und der Abrichtachse können damit die Stirnseiten

der Schleifwerkzeuge profiliert und auch mit besonderen Einrichtungen gezielt geschärft und gereinigt werden.

### **Einlauf geschlossen -Tiltung Positiv - Durchlaufschleifen**

Bei dieser Einstellung ist der Umfang der Schleifwerkzeuge wesentlich an der Zerspanung beteiligt. Die Kornbelastung an der Einlaufkante ist dabei sehr hoch. Es kommt schnell zu Kornabstumpfung und die Zerspankräfte übersteigen die Kornhaltekraft. Korn bricht aus und es kommt zur Kantenverrundung, die sich mit zunehmendem Spanvolumen bis zur Mitte der Schleifscheiben ausbildet. Der Schleifraum ähnelt damit zunehmend dem Schleifraum mit negativer Tiltung. Die Hauptdruckkraft liegt nur hierbei mehr Richtung Einlauf. Durch die hohen axialen Kräfte vom Einlauf bis zum Auslauf wird die Maschine vorgespannt. Druckschwankungen am Einlauf durch unterschiedliches Aufmaß verändern die Höhe und Parallelität am Auslaufenster bei dieser Einstellung weniger als bei der Einstellung mit negativer Tiltung. Die Maßschwankungen von Rohteilen werden damit schneller abgebaut.

Durch Kornausbruch und später der Abstumpfung der Schneidkanten wird die erzeugte ursprünglich hohe Werkstückrauheit mit zunehmendem Zerspanvolumen geringer.

Durch die Korn- und Bindungsbelastung auf engem Raum an den Einlaufkanten der Schleifwerkzeuge bildet sich eine sogenannte Einlaufschräge aus. Der Schleifraum wird dadurch zu einem sich über die Eingriffsbahn verjüngenden Kanal. Diese Einstellung führt zu einem Schleifraum mit sich zur Mitte hin verjüngendem keilförmigen Schleifraum. Bestimmte Rohteilgeometrien erfordern diese Einstellung. Die Bildung der Einlaufschrägen kann auch über den Profilierungsvorgang erfolgen.

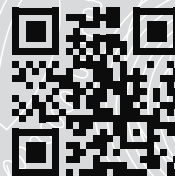
### **Einstellung parallel Tiltung neutral , Einstechschleifen, Einstech-Durchlaufschleifen**

Bei Tiltung 0, d.h. bei parallel sich gegenüberstehenden Schleifwerkzeugen wird der geringste Abstand der Stirnseiten der Werkzeuge am Ende der Zustellbewegungen der Schleifspindeln erreicht. Damit wird das Endmaß nicht beim Durchlaufen eines Spaltes erzielt sondern durch die sich parallel gegenüberstehenden Werkzeuge im Schleifraum erreicht. Das Werkstück ist beim Erreichen des Endmasses zwischen den beiden Schleifflächen des Raumes flächig eingespannt. Diese Einstellung wird beim Einstechschleifen( Quer-Seiten-Planschleifen)mit Planetenkinematik und dem Durchlaufeinstechschleifen (Kombination aus Längs- und Querseiten-Planschleifen) angewendet. Das Ergebnis ist ein Kreuzschliff mit sich gleichmäßig kreuzenden Schleifspuren. Die Schneidkanten der Schleifkörner überstreichen die Werkstückfläche in verschiedenen Richtungen. Das Ergebnis ist eine relativ hohe Oberflächen-güte selbst bei größerem Schleifkorn.



# Know-how is one of our sharpest tools.

And we work hard to keep it that way.



Learn more about us and our competence.

## **EHN & LAND**

EXPERT SUPPLIER IN MICROT TECHNOLOGY

[www.ehmland.com](http://www.ehmland.com)



Mit dieser Einstellung werden die höchsten Genauigkeiten erreicht. Über variable Zustellgeschwindigkeit und variable Winkelgeschwindigkeit der Transportscheiben während der Zustellung läßt sich der Schleifprozess und auch der Verschleiss der Werkzeuge auf das Werkstückverhalten anpassen. Mit dieser Einstellung sind auch größere Aufmaße im mm-Bereich bei hoher Endgenauigkeit möglich. Hierbei ist das Verschleißverhalten der Werkzeuge an der Fertigbearbeitungsstelle zu beachten. Die Winkelstellung und die Zustellbewegung der Schleifwerkzeuge sind hierbei für die Verformung des Schleifraumes von Bedeutung. Mit der hubabhängigen Zustellgeschwindigkeit kann auch ein entspannendes Ausfeuern realisiert werden. Die Zustellung beim Seitenplanschleifen ist üblicherweise weg- und nicht kraftgesteuert.

Um die Schneidkanten der Schleifkörner zum Einsatz zu bringen, müssen die Schleifwerkzeuge zugestellt werden wie bei dem sogenannten Einstech- oder DurchlaufEinstechverfahren. Die beiden Schleifspindeln fluchten bei diesen Verfahren, die Werkzeuge stehen sich parallel gegenüber und werden, wenn die Werkstücke sich in der Einstechposition befinden, zugestellt.

Bei den konventionellen Werkzeugen kann auch dem sogenannten Selbstschärfeeffekt eine besondere Bedeutung zukommen. Man versteht darunter das Verhalten, dass durch abgestumpfte Kanten der Schleifkörner die Schleifkräfte am Einzelkorn steigen und die Kornhaltekräfte überstiegen

werden können. Es kommt dann oft zum flächigem Ausbruch der abgestumpften Körner und neue Schneidkanten werden frei. Das Schleifwerkzeug hat sich selbst geschärft. Im Idealfall erfolgt dabei keine sich stetig verändernde Schleifraumänderung und das Bearbeitungsergebnis bleibt innerhalb der Bauteiltoleranzen. Zur Bildung einer Einlaufschräge kann dies genutzt werden. Es werden somit keine zusätzlichen Profilier- oder Schärfvorgänge mehr nötig. Mit optimalen Startgeometrien lassen sich die Schleifwerkzeuge nach der ersten Profilierung bis zum Verbrauch des gesamten Schleifwerkzeugvolumens ohne Zwischenprofilierung aufbrauchen. Diese Einstellung ist damit äußerst wirtschaftlich. Jedoch erst nach längerer Optimierungszeit für sehr große Losgrößen erreichbar. Dies läßt sich erst nach nach längeren Produktionsmengen mit optimierten Schleifwerkzeugen erreichen. Dieser Effekt kann bei Maschinen mit waagerechten Schleifspindeln und symmetrischem Schleifraum mit sich gegenüberstehenden balligen und konischen Schleifwerkzeugstirnseiten erreicht werden. Durch die sich hierbei ändernden Schleifdrücke sind die erreichbaren Genauigkeiten, begrenzt Höhere Genauigkeiten werden nur mit Schleifwerkzeugen erreicht, die nicht ausbrechen. Die Form bleibt lange erhalten. Es muß aber wegen der abstumpfenden Schleifkörner und dem damit verbundenem steigendem Schleifdruck zumindest geschärft werden. Dies hat früh zur Verwendung und dem mittlerweile sehr häufigen Einsatz von CBN Werkzeugen bei diesem Verfahren geführt.

### Zusammenfassung

Beim Seitenplanschleifen bestimmt der Schleifraum insgesamt mit seiner realen, durch Schleifdruck und Verschleiß gebildeten Form die Bearbeitungsgenauigkeit. Die reale Tiltung ist eine wesentliche Größe für dieses Schleifverfahren. Sie beschreibt die Stellung der zerspannenden und damit formgebenden Stirnseiten der Schleifwerkzeuge zueinander.

**Springmann SA**  
Machines-Outils

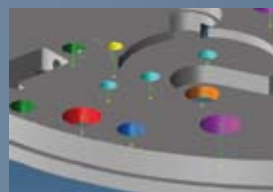
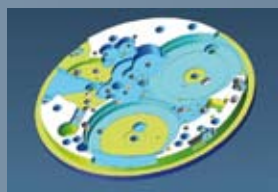
Route des Falaises 110 - CH-2008 Neuchâtel  
Tel +41 (0)32 729 11 22 - Fax +41 (0)32 725 01 01  
neuchatel@springmann.ch - www.springmann.ch

You can download the English version  
of this article on Eurotec's at

[www.eurotec-online.com/articles-by-companies/Springmann/](http://www.eurotec-online.com/articles-by-companies/Springmann/)

**GibusCAM**®

« La solution FAO efficace pour l'usinage de vos ponts et platines »



- Qualité poinçon de Genève
- Associativité CAO
- Reconnaissance auto des perçages et taraudauges
- Gestion multi-pièces
- Gestion des machines transferts
- Création des outils de formes

**PRODUCTEC**  
LOGICIELS ET SERVICES DE PROGRAMMATION CNC

[www.productec.com](http://www.productec.com)

Grands-Champs 5  
CH-2842 ROSSEMAISON  
Tél. +41 32 421 44 33

59, Ch. Moulin Carron  
F-69570 DARDILLY  
Tél. +33 9 74 76 26 61