

The logo of Damanhour University is a circular emblem. It features a central yellow lamp with a flame, set against a background of radiating yellow lines. The lamp is enclosed within a circular frame. Above the lamp, the Arabic text "وقل رب زدني علما" is written in a semi-circle. Below the lamp, the Arabic text "جامعة دمنهور" is written in a semi-circle. The entire emblem is surrounded by a larger circular border containing the text "Damanhour University" in English.

نظرية قطع المعادن

**THEORY OF METALS CUTTING**







منشورات جامعة دمشق  
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

# نظرية قطع المعادن

## THEORY OF METALS CUTTING

الدكتور

غسان حداد

أستاذ في قسم تصميم الميكانيكي

الدكتور

خليس عزيمة

أستاذ في قسم تصميم الميكانيكي

الدكتور

عصام قرقوط

أستاذ مساعد في قسم تصميم الميكانيكي

١٤٣١ - ١٤٣٢ هـ

٢٠١٠ - ٢٠١١ م

جامعة دمشق



# الفهرس

الصفحة

مقدمة

٩

## الفصل الأول: هندسة الحد القاطع

٩٣

متغيرات عملية القطع وعناصر الطبقة المقطوعة

١٥

١-١ - مقدمة

١٥

١-٢ - الحركات في آلات التشغيل

١٩

١-٣ - مستويات التشغيل

١٩

١-٤ - المستويات الإحداثية، هندسة الحد القاطع

٢٣

١-٥ - هندسة وزوايا أقلام القطع

٢٩

١-٦ - تصميم ريش الثقب

٣٦

١-٧ - مقطّعات التفريز

٤٦

١-٨ - العلاقة بين زوايا الشحذ والزوايا العاملة لأقلام القطع

٥٤

١-٩ - عناصر نظام القطع والطبقة المزروعة في مختلف عمليات

التشغيل بالقطع

٧٩

## الفصل الثاني: مواد أدوات القطع

٧٣

٢-١ - صفات مواد أدوات القطع

٧٤

٢-٢ - مواد أدوات القطع

٧٩

٢-٣ - المواد المناسبة

٨١

٢-٤ - المواد السيراميكية ذات الاستخدام المزدوج

٨٧

## الفصل الثالث: نظرية تشكيل الرايش عند قطع المعادن

|     |                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------|
| ٨٩  | ٣-١ - التشوه اللدن للمعادن في منطقة القطع                   |
| ٩٥  | ٣-٢ - أشكال الرايش وظروف تشككه                              |
| ٩٨  | ٣-٣ - آلية تشكك الرايش                                      |
| ١١٧ | ٣-٤ - آلية تشكك الرايش المستمر والرايش المنحزأ              |
| ١٢٢ | ٣-٥ - الحالات الأساسية للتشوه اللدن للمعادن في عملية القطع  |
| ١٢٣ | ٣-٦ - تشوه وانكماش الرايش                                   |
| ١٣٣ | <b>الفصل الرابع: الاحتكاك وظواهر الاتصال في منطقة القطع</b> |
| ١٣٥ | ٤-١ - ظواهر الاتصال في عملية تشكك الرايش                    |
| ١٣٦ | ٤-٢ - الاحتكاك في مناطق الاتصال                             |
| ١٤٦ | ٤-٣ - تشكك الحد المتراكب عند قطع المعادن                    |
| ١٥٤ | ٤-٤ - علاقة الظواهر في عملية تشكك الرايش                    |
| ١٦١ | <b>الفصل الخامس: القوى والعمل عند قطع المعادن</b>           |
| ١٦٣ | ٥-١ - الحالة الإجهادية في منطقة القطع                       |
| ١٦٨ | ٥-٢ - الطرق التجريبية لتحديد قوى القطع                      |
| ١٧٩ | ٥-٣ - أثر العوامل المختلفة على قوى القطع                    |
| ١٨٤ | ٥-٤ - قوى القطع عند عمليات التشغيل المختلفة                 |
| ٢٠٣ | ٥-٥ - عمل وطاقة القطع                                       |
| ٢٠٥ | ٥-٦ - الاهتزازات في النظام التكنولوجي                       |
| ٢١٩ | <b>الفصل السادس: العمليات الحرارية عند قطع المعادن</b>      |
| ٢٢١ | ٦-١ - مصدر حرارة القطع                                      |
| ٢٢٥ | ٦-٢ - التوزيع الحراري في منطقة القطع                        |
| ٢٢٩ | ٦-٣ - العوامل المؤثرة على درجة حرارة القطع                  |

|     |                                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| ٢٣٨ | ٦-٤ - التبريد                                                           |
| ٢٤٧ | الفصل السابع: اهتراء أداة القطع وتضررها                                 |
| ٢٤٩ | ٧-١ - مقدمة                                                             |
| ٢٥٠ | ٧-٢ - الأضرار بأداة القطع وتصنيفاتها                                    |
| ٢٦٠ | ٧-٣ - اهتراء القلم                                                      |
| ٢٦٧ | ٧-٤ - دراسة حالة - آلية اهتراء أدوات القطع المصنوعة من فولاذ سريع القطع |
| ٢٨١ | الفصل الثامن: نوعية السطوح المشغلة                                      |
| ٢٨٣ | ٨-١ - أثر نوعية السطح على مواصفات المشغولة                              |
| ٢٨٥ | ٨-٢ - تشكيل النتوءات الميكروية                                          |
| ٢٨٧ | ٨-٣ - العوامل المؤثرة في خشونة السطوح المشغلة                           |
| ٢٩٤ | ٨-٤ - نوعية السطوح وكفاءة المشغولات                                     |
| ٢٩٥ | الفصل التاسع: سرعات القطع المسموح بها تبعاً لخصائص العدد                |
| ٢٩٧ | ٩-١ - اهتراء القلم وزمن التشغيل                                         |
| ٢٩٨ | ٩-٢ - أثر العوامل المختلفة على سرعة القطع المسموح بها للقلم             |
| ٣٢٠ | ٩-٣ - صيغ سرعة القطع                                                    |
| ٣٢١ | ٩-٤ - الشروط من أجل التشغيل بسرعة قطع عالية وتغذية كبيرة                |
| ٣٢٥ | المصادر العلمية                                                         |
| ٣٢٧ | قاموس المصطلحات العلمية                                                 |



## المقدمة

إن التطور التقني اليوم يسير بخطى متسارعة، فالمعلومة التي كانت بالأمس القريب معلومة حديثة ومبتكرة تظهر اليوم كمعلومة متقدمة، والسباق يتم حول امتلاك الجديد من الأفكار وتطويرها بما يخدم ثورة التقنية التي يشهدها العالم والدول النامية ومن بينها قطرنا العربي السوري هي أحوج ما تكون إلى اللحاق بركب الحضارة العلمية، ولكي لا تتأخر عن القافلة أو نبدأ من نقطة الصفر علينا أن نستفيد من تجارب الآخرين الذين نعترف أنهم حققوا إنجازات كبيرة في مسيرة التطور العلمي، لذلك يجب علينا أن نبدأ من نقل المعلومة أولاً ومن ثم توطئتها، وإن مسيرة التحديث والتطوير قد وفرت كل مستلزمات البحث العلمي مدعومة بالعنصر الأساسي المتجسد في الإنسان القادر على الإبداع والابتكار، حيث يشهد العالم لعلمائنا وباحثينا بدورهم في تطوير العلوم مع اختلافها، فلم يحض يوم إلا ونسمع فيه عن دور متميز لمواطن سوري في هذا المجال العلمي أو ذاك.

إن المقرر الذي بين أيدينا المتمثل في نظرية قطع المعادن يعتبر مقررأ غاية في الأهمية فلا تخلو صناعة مهما كان نوعها من ضرورة استخدام أدوات القطع التي تتطلب نظريات علمية تجعل من هذه العملية أكثر جودة، فكثيرة هي الصناعات المدنية والعسكرية التي تأثرت سلباً أو إيجاباً بنوعية أدوات القطع، وعلى سبيل المثال عندما خسرت ألمانيا في الحرب العالمية الثانية مستعمراتها في جنوب إفريقيا حيث كانت تشكّل المصدر الأساسي للألماس العنصر الأكثر أهمية وجودة في تصنيع أدوات القطع والضروري جداً لصناعتها العسكرية اضطرت إلى ابتكار نوع مماثل يشابه في صفاته مسادة الألماس ويختصر بكلمة فيديا، ودول كثيرة في العالم حذت حذو ألمانيا في ابتكار مواد جديدة. يتألف الكتاب من تسعة فصول:

**الفصل الأول:** يتحدث عن طبيعة هندسة الحد القاطع ومتغيرات عملية القاطع إضافة إلى عناصر الطبقة المقطوعة.

**الفصل الثاني:** يحدد المواد المستخدمة في تصنيع أدوات القاطع والتي تختلف في صفاتها (القساوة، المتانة، مقاومة فعل درجات الحرارة، مقاومة الاهتراء والاحتكاك، التكلفة).

وذلك ليسنى للمصنع اختيار المادة المطلوبة لصناعته وفقاً لمتطلبات عملية الإنتاج.

**الفصل الثالث:** يتناول الفصل الثالث نظرية تشكل الرايش عند قطع المعادن محدداً آلية تشكل الرايش عبر ظاهرة التشوه اللدن والمرت للمعدن المقطوع.

**الفصل الرابع:** يتحدث عن الاحتكاك وظواهره خاصة في مناطق الاحتكاك بين أدوات القاطع والرايش والمعدن المقطوع ومن ثم تحديد ظاهرة الحد المتراكب وعلاقة الظواهر المختلفة عند تشكل الرايش.

**الفصل الخامس:** يتناول الفصل الخامس القوى والعمل عند قطع المعادن محدداً الحالة الإجهادية لكل عمليات التشغيل، ومقترحاً الطرق المختلفة لتحديد قوى القاطع وإمكانية التخفيف من تأثيراتها.

**الفصل السادس:** يتعرض الفصل السادس إلى العمليات الحرارية عند قطع المعادن محدداً عملية التوزيع الحراري والعوامل المؤثرة على درجة الحرارة مع اقتراح الطرق المناسبة لتخفيف درجة الحرارة وتأثيراتها السلبية بوساطة الاختيار الأفضل للمواد التبريد.

**الفصل السابع:** يتحدث الفصل السابع عن اهتراء أدوات القاطع وتضررها شارحاً ظاهرة الاهتراء كظاهرة لها الكثير من الآثار السلبية على أداة القاطع، ومنها ما هو اهتراء حراري أو ميكانيكي أو اهتراء مختلط محدداً الآثار السلبية لهذا الاهتراء عبر دراسة الآلية التي يتم فيها.



**الفصل الثامن:** يدرس الفصل الثامن نوعية السطوح المشكّلة والطرق المناسبة لتحسين جودة السطح المنتج إضافة إلى العوامل المؤثرة في خشونة السطح المشغّل وإمكانية تلافيتها.

**الفصل التاسع:** يعرض الفصل التاسع سرعات القطع المسموح بها تبعاً لخصائص العدد. وأثر العوامل المختلفة على سرعة القطع المسموح بها للقلم والشروط التشغيلية بسرعة قطع عالية.

إن الهدف الرئيسي لوضع الخطة التكنولوجية والمنتج على حد سواء يكمن في إنتاج مشغولات تلي الحالة الوظيفية المطلوبة منها بالجودة المطلوبة وبأقل التكاليف، وإن كان من الصعب تحقيق هذين المطلبين بشكل مثالي فمن الممكن أن تكون المقاربة نسبية حتى تستطيع هذه المنتجات أن تنافس مثيلاتها في السوق التجارية، ومن خلال دراستنا وضعنا أمام طلابنا الأسس العلمية التي تؤهله لإتباع الأساليب العلمية في تحقيق الأهداف المرجوة واعتمدنا في كتابنا هذا على مبدأ الصورة قبل الكلمة ليكون هذا الكتاب عوناً ليس لطلابنا فحسب بل لجميع المختصين والمعنيين في هذا الاختصاص. بما فيهم مهندسو الإنتاج المتوزعون في كل مكان، وعلى مساحة الوطن، وإن كنا قد اشتركنا في التأليف الأستاذ الدكتور المهندس غسان حداد بنسبة ٤٠٪، الأستاذ الدكتور المهندس خليل عزيمة بنسبة ٤٠٪، الأستاذ المساعد الدكتور عصام فرقسوط بنسبة ٢٠٪، إلا أننا شكلنا بتعاوننا معاً أسرة واحدة، هدفها رفع المستوى العلمية لكتابنا الجامعي مضيفين إلى مكتبتنا العربية عنواناً جديداً، وبهذا الشكل نأمل أن نكون قد وضعنا لبنة في بناء مسيرة التطوير والتحديث التي يقودها السيد الرئيس الدكتور بشار الأسد.

والله الموفق

المؤلفون



## الفصل الأول

### هندسة الحد القاطع

#### متغيرات عملية القطع وعناصر الطبقة المقطوعة

- ١-١- مقدمة
- ١-٢- الحركات في آلات التشغيل
- ١-٣- مستويات التشغيل
- ١-٤- المستويات الإحداثية، هندسة الحد القاطع
- ١-٥- هندسة وزوايا أقلام القطع
- ١-٦- تصميم ريش الثقب
- ١-٧- مقاطع التفريز
- ١-٨- العلاقة بين زوايا الشحذ والزوايا العاملة لأقلام القطع
- ١-٩- عناصر نظام القطع والطبقة المروعة في مختلف عمليات التشغيل بالقطع



## ١-١-١ - مقدمة:

تستخدم في الصناعة أشكال متعددة من أقلام وأدوات القطع التي تختلف عن بعضها البعض بشكل حركتها، وبطريقة تحضيرها وبنوع المواد المستخدمة في ذلك، وتصميم وبناء الآلات والمعدات التي تتركب عليها هذه الأدوات وغير ذلك من الاختلافات. ولكن كل واحد من هذه الأدوات يملك حداً قاطعاً (أو عدة حدود) لسه تصميم مختلفة حسب نوع وتصميم كل أداة، وبناء عليه يتم تحديد شكل الطبقة المنزوعة (تسامح التشغيل) من المشغولة. بعض أدوات القطع أحادية الحد القاطع كما في أقلام الخراطة والقشط، وثنائية الحد القاطع كما في ريش الثقب، أو متعددة الحدود القاطعة كما في مقاطع التفريز، المساحل، أدوات التخليق وغيرها.

## ١-٢-١ - الحركات في آلات التشغيل:

حتى تتم عملية قطع طبقة من سطح المشغولة لا بد من وجود حركة نسبية بين أداة القطع المستخدمة والمشغولة. حيث من الممكن أن تتحرك كلٌ من المشغولة وأداة القطع بحركتين مختلفتين، أو أن تتحرك إحداهما بالنسبة للأخرى. ومن أجل تحقيق هذا الهدف تحتوي كل آلة تشغيل على مجموعة من الأجزاء العاملة (عمود الدوران الرئيسي، طاولة أو عربة، حامل أدوات القطع وغيرها) تؤمن الحركات المطلوبة لكل من أداة القطع والمشغولة حسب تصميم الآلة ونوع عملية التشغيل. في عمليات التشغيل بالقطع تصنف الحركات إلى:

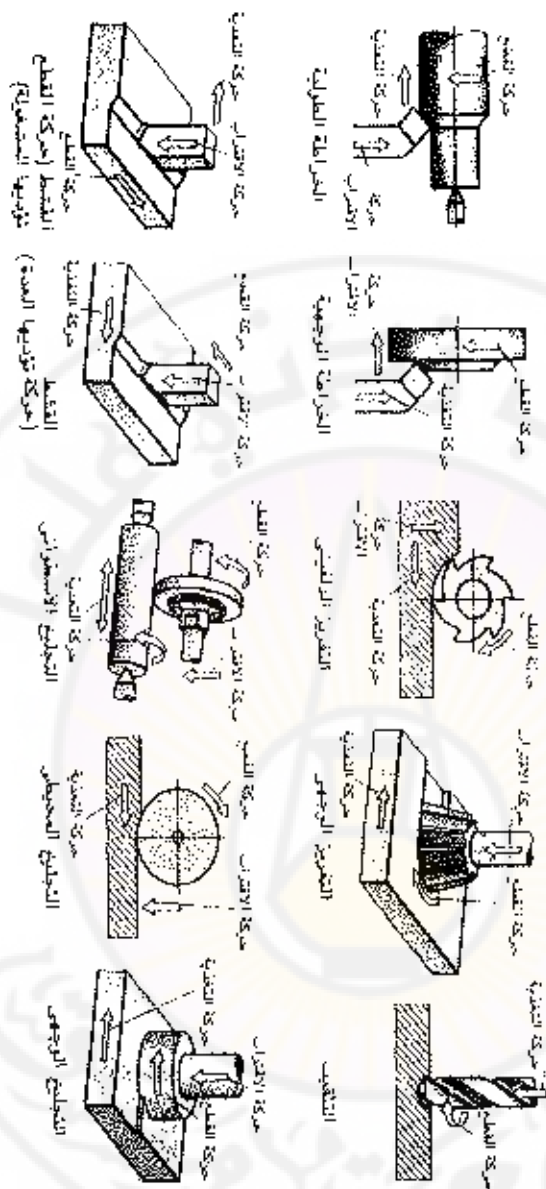
- ١- حركة القطع ( الحركة الرئيسية)
- ٢- حركات التغذية
- ٣- حركات مساعدة، وذلك كما هو مبين على الشكل (١-١).

**حركة القطع - الحركة الرئيسية:** هي الحركة اللازمة لانجاز عملية القطع والتي تتحدد على أساسها سرعة القطع ( $v$ ) اللازمة، كما هو مبين على الشكل (١-١). هذه الحركة يمكن أن تكون دورانية أو خطية. تقوم بها أداة القطع أو المشغولة. فعلى سبيل المثال، في عمليات الخراطة حركة القطع هي حركة دورانية تقوم بها المشغولة المثبتة على عمود دوران الآلة الرئيسي (الجزء المحوري)، أما في عمليات الثقب والتفريز والتجليخ فهي دورانية تقوم بها أداة القطع. وفي عمليات القشط فإن القطع يتم وصفه حركة ترددية مستقيمة تقوم بها أداة القطع، المثبتة على تمساح الآلة.

**حركات التغذية:** هي مجموعة الحركات اللازمة من أجل تنفيذ عملية القشط على كامل سطح المشغولة، حركة التغذية يمكن أن تكون مستمرة كما هو الحال في عمليات الخراطة والتفريز والثقب وغيرها، أو متقطعة دورية كما في عمليات القشط، ويمكن أن تكون حركة مركبة كما في المحالخ الأسطوانية حيث توجد عدة حركات تغذية.

**حركة تغذية دورانية للمشغولة:** حركة تغذية طولية (محورية) تمثل تقدم حجر الجlix أو المشغولة طولياً، بالإضافة إلى التغذية العرضية، وهي تغذية خطية متقطعة (دورية) تتم في نهاية كل شوط طولى للمشغولة، حيث يتقدم حجر الجlix عرضياً باتجاه المشغولة.

في عمليات الخراطة يوجد نوعان من حركات التغذية: تغذية طولية وتغذية عرضية. يختلف عدد الحركات (حركات القطع وحركات التغذية) التي يتم بمساعدتها انجاز عملية القطع على مختلف أنواع آلات التشغيل، وذلك تبعاً لطبيعة عملية التشغيل وتصميم الآلة نفسها.



الشكل (١-١)

حركات القطع (الرئيسية) والتغذية في عمليات التشغيل بالقطع

تبعاً لعدد وطبيعة الحركات الأولية (الأساسية) المقترنة مع بعضها (حركة قطع وحركة تغذية) قام البرفسور غرانوفسكي بتصنيف المخططات الكينماتيكية (الحركية) لآلات التشغيل وفقاً لما يلي:

١- عملية قطع بحركة خطية واحدة،

٢- بحركتين خطيتين،

٣- بحركة دورانية واحدة،

٤- بحركة دورانية وحركة خطية،

٥- بحركتين دورانيتين،

٦- بحركتين خطيتين وحركة دورانية،

٧- بحركتين دورانيتين وحركة خطية،

٨- ثلاث حركات دورانية،

الحركات المساعدة: هي مجموعة من الحركات المتنوعة التي ليس لها علاقة مباشرة بعملية القطع حيث تتم خلال توقف عملية القطع، مثل تقدم أداة القطع إلى بداية شوط التشغيل، تراجع أداة القطع إلى الوضعية المناسبة من أجل بداية شوط تشغيل جديد وغيرها من الحركات التي تختلف عن بعضها حسب تصميم آلة التشغيل وحسب الخطة التكنولوجية للتشغيل، تتم الحركات المساعدة إما يدوياً أو آلياً وذلك لاختصار الزمن وزيادة الإنتاجية.

في آلات التشغيل الحديثة المؤتمتة تتم جميع الحركات المساعدة بشكل أوتوماتيكي وبالتسلسل حسب دورة التشغيل.

إن أية عملية تشغيل على ماكينات القطع تدخل ضمن واحدة من المجموعات الثمانية سابقة الذكر.



على سبيل المثال، عمليات القشط والتخليق تنسب إلى المجموعة الأولى، أما عمليات الخراطة، الثقب، التفريز المستوي فتتنسب إلى المجموعة الرابعة، وعمليات تفريز الأجسام الدورانية تنسب إلى المجموعة الخامسة، عمليات قطع المسننات تنسب إلى المجموعة السابعة، وهكذا المختلف عمليات التشغيل.

### ١-٣- مستويات التشغيل:

في عمليات التشغيل بالقطع التي تترافق بعملية إزالة لطبقة من المعدن على شكل رايش عن سطح المشغولة للوصول إلى عنصر جاهز، يمكن تمييز ثلاثة مستويات:

١- السطح الجاري تشغيله (السطح رقم ١ كما في الشكل ١-٢) وهو سطح

المشغولة الذي يتم إبعاده بالكامل أو بشكل جزئي خلال عملية التشغيل.

٢- السطح المشغل (السطح رقم ٣ كما في الشكل ١-٢) وهو السطح المتشكل

بعد عملية التشغيل وإزالة الرايش.

٣- سطح القطع (السطح رقم ٢ كما في الشكل ١-٢) وهو السطح المتشكل

على المشغولة بواسطة الحد القاطع الرئيسي لأداة القطع. إن سطح القطع يمثل

سطحاً انتقالياً بين السطح المشغل والسطح الجاري تشغيله.

### ١-٤- المستويات الإحداثية، هندسة الحد القاطع:

يتكون الجزء العامل لأية أداة قطع من حد قاطع، نصل واحداً أو عدة حدود قاطعة.

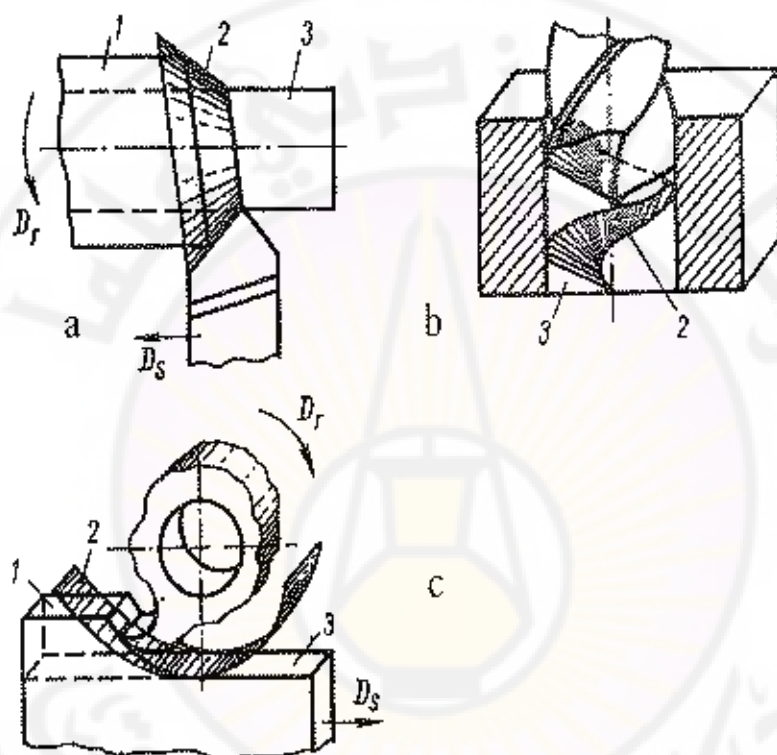
يتم تشكيل عدة سطوح على الجزء القاطع لأداة القطع، كما هو مبين على الشكل

(١-٣) هي:

أ- السطح الأمامي (1) ويسمى أحياناً وجه الحد القاطع، وهو السطح الذي

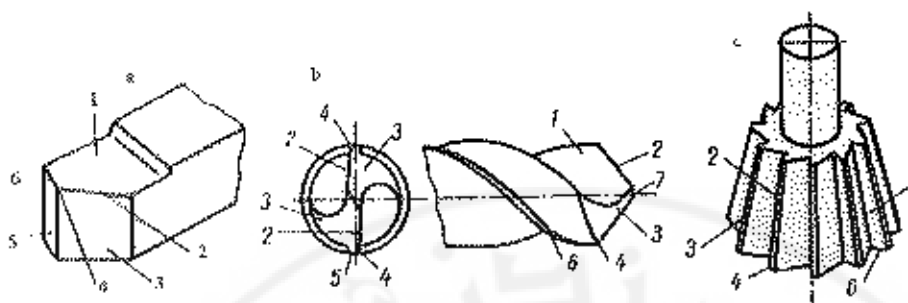
يقع بتماس مع الطبقة المقطوعة والرايش خلال عملية التشغيل،

ب- السطح الخلفي الرئيسي (3) - وهو الذي يقع بتماس مع سطح القطع.  
 ج- السطح الخلفي المساعد (5) المقابل للسطح المشغل.



الشكل (١-٢)

مستويات التشغيل في عمليات الخراطة (a)، الثقب (b)، التفريز بمقطع أسطوانتي  
 (c) : ١- السطح الجاري تشغيته، ٢- سطح القطع، ٣- السطح المشغل



الشكل (١-٣)

السطوح العاملة والحدود القاطعة في أدوات القطع

$a$  - قلم خراطة ،  $b$  - ريشة ثقب ،  $c$  - مقطع تفريز

كما ويحتوي الجزء القاطع على عدة حدود تتشكل من تقاطع مستويات مختلفة:

١ - الحد القاطع الرئيسي (2) - والذي يتشكل من تقاطع السطح الأمامي

(1) مع السطح الخلفي الرئيسي (3).

٢ - الحد القاطع المساعد (6) والذي يتشكل من تقاطع السطح الأمامي (1) مع

السطح الخلفي المساعد (5).

٣ - قمة الحد القاطع (4) - وهي نقطة تلاقي الحدين القاطعين الرئيسي 2

والمساعد 6، وهذه القمة دائماً تكون مستديرة بنصف قطر  $\rho$  حيث

$$(\rho = 0,5 \dots 2 \text{ mm})$$

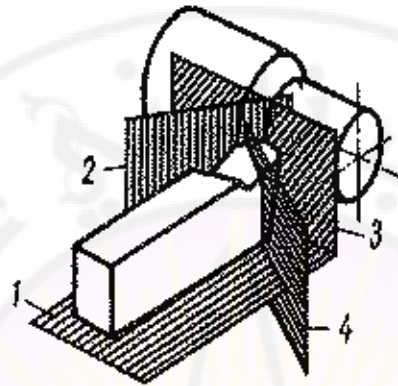
إن شكل توزيع الحدود القاطعة في الفراغ يحدد الكثير من خصائصها القاطعة التي يتم

تقييمها بالنسبة إلى عدد من المستويات الإحداثية. سوف نتعرف على هذه المستويات

بالنسبة لقلم الخراطة والمبينة على الشكل (١-٤) من أجل تحديد وضعية الحدود

القاطعة لقلم الخراطة في الفراغ تستخدم المستويات الإحداثية التالية:

المستوى الأساسي (1)، مستوى القطع (2)، مستوى التشغيل (3)، المستوى القاطع الرئيسي (4) مستوى الإسناد الرئيسي، والمستوى القاطع المساعد (وهو غير مبين على الشكل).



الشكل (١-٤)

المستويات الإحداثية لقلم الخراطة

ينظر إلى هذه المستويات في مجموعات إحداثية مختلفة. في مجموعة إحداثية ثابتة (مجموعة ستاتيكية) يكون مبدأ الإحداثيات هو قمة أداة القطع.

- المستوى الأساسي: (في مجموعة إحداثية ثابتة) هو المستوى المتوضع بشكل عمودي بالنسبة لاتجاه سرعة الحركة الرئيسية. بالنسبة لأقلام الخراطة فإن المستوى يمثل سطح الاستناد السفلي لقلم القطع.
- مستوى القطع: هو المستوى المماس للحد القاطع الرئيسي والمتعامد مع مستوى القطع.

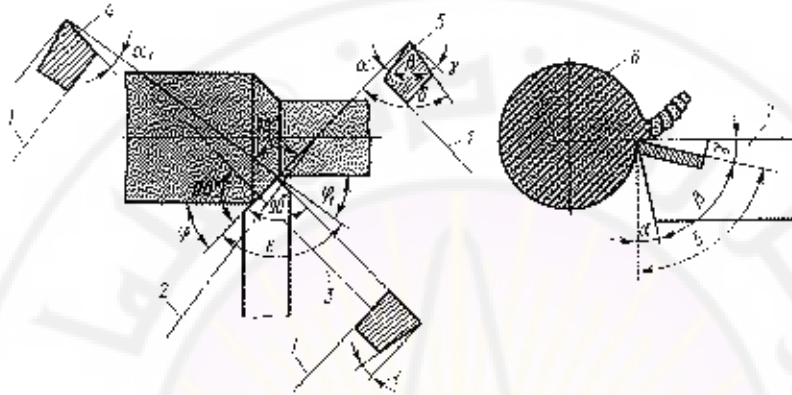
- **مستوي التشغيل:** هو المستوي الذي تتوضع فيه اتجاه الحركة الرئيسية (حركة القطع) وحركة التغذية. في عمليات الخراطة الطولية هو مستوي شاقولي متعامد مع المستوي الأساسي ويوازي محور المشغولة.
- إن زوايا أقلام وأدوات القطع يتم تحديدها في المستويات المقاطعة (المستوي 4 في الشكل ١-٤). هذه المستويات تتوضع بشكل عمودي على الحدين القاطعين الرئيسي والمساعد المشكلين لرأس القلم.
- **المستوي القاطع الرئيسي:** وهو إحدى المستويات الإحداثية، ويتوضع عمودياً على المستوي الأساسي 1 وعلى مستوي القطع 2. وكما هو معلوم فسيان مستوي القطع 2 مماس للحد القاطع الرئيسي، وهذا ما يجعل المستوي القاطع الرئيسي 4 عمودياً دائماً على مسقط الحد القاطع الرئيسي على المستوي الأساسي. ويسمى هذا المستوي أحياناً بمستوي الإسناد الرئيسي.
- **المستوي القاطع الثانوي:** هو مستوي عمودي على المستوي الأساسي و بالوقت نفسه عمودي على مسقط الحد القاطع المساعد على المستوي الأساسي. (يسمى في بعض المراجع مستوي الإسناد الثانوي).

## ١-٥- هندسة وزوايا أقلام القطع :

من أجل تسهيل عملية دخول الحد القاطع في المعدن المشغل وتقليل الاحتكاك فإنه يشكل على رأس القلم عدة زوايا تقسم إلى زوايا رئيسية وزوايا مساعدة، كما في الشكل (١-٥).

الزوايا الرئيسية هي: زاوية الخلوص الرئيسية  $\alpha$ ، زاوية الشفة  $\beta$ ، زاوية الجرف  $\gamma$ ، زاوية القطع  $\delta$  وزاوية الاقتراب الرئيسية  $\varphi$ .

الزوايا المساعدة لقلم القطع: زاوية الاقتراب المساعدة  $\phi_1$ ، زاوية ميل الحد القاطع الرئيسي  $\lambda$ ، زاوية رأس القلم  $\varepsilon$ ، زاوية الخلوص الثانوية  $\alpha_1$  (المساعدة) وزاوية الجرف المساعدة  $\gamma_1$ .



الشكل (١-٥) الزوايا الرئيسية والمساعدة لقلم الخراطة:

١- المستوي، ٢- مستوي الإسناد الثانوي (الخلفي)، ٣- مستوي الإسناد الرئيسي،

٤- مقطع وفق مستوي الإسناد الثانوي. ٥- مقطع وفق مستوي الإسناد الرئيسي

٦- المشغولة، ٧- قلم القطع.

تقاس الزوايا الرئيسية لأقلام الخراطة في مستوي الإسناد الرئيسي (3)،

#### زاوية الخلوص الرئيسية $\alpha$ :

تسمى أحياناً الزاوية الخلفية الرئيسية، وهي الزاوية الواقعة بين السطح الخلفي الرئيسي لأداة ومستوي القطع، يتم تشكيل هذه الزاوية من أجل تقليل الاحتكاك بين السطح الخلفي للقلم والمشغولة، وتقع بحدود  $6^\circ$  إلى  $12^\circ$  درجة.

### زاوية الشفة $\beta$ :

هي الزاوية المحصورة بين السطح الأمامي (وجه القلم) والسطح الخلفي (الخائبي) الرئيس لقلم القطع (شكل ١-٥).

### زاوية الجرف $\gamma$ :

تسمى بالزاوية الأمامية الرئيسية، وهي الزاوية المحصورة بين السطح الأمامي لأداة القطع والمستوي العمودي على مستوي القطع والمار بالحد القاطع الرئيسي. لزاوية الجرف دور "أساسي" في طبيعة تشوه المعدن المقطوع وتشكل السرايش. فكلما زادت زاوية الجرف قل تشوه المعدن المقطوع، وقلت قوة القطع اللازمة لتغلغل الحد القاطع في المعدن المشغل، وبالتالي يقل استهلاك القدرة. ولكن من جهة ثانية فإن زيادة زاوية الجرف يسبب إضعاف متانة الحد القاطع. لذلك يجب اختيار زوايا الجرف لأقسام القطع بما يتناسب مع خصائص المعدن المشغل ونظام القطع المستخدم، فعند تشغيل المعادن الصلدة يجب استخدام أقلام ذات زوايا جرف صغيرة نسبياً، وعلى العكس عند تشغيل المعادن الطرية يمكن زيادة زاوية الجرف.

كما وتؤثر مادة أداة القطع على مقدار زاوية الجرف، فعند استخدام أداة قطع مسن فولاذ السرعات العالية فإن زاوية الجرف أكبر منها عند استخدام المسواد الكربيدية، وذلك بسبب ارتفاع صلابتها وقلة متانتها بالمقارنة مع الصلب.

ويجب الملاحظة أن مجموع الزوايا الثلاث السابقة يشكل زاوية قائمة:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (1-1)$$

### زاوية القطع $\delta$ :

هي الزاوية المحصورة بين السطح الأمامي لأداة القطع ومستوي القطع، وحسب الشكل فإن زاوية القطع تساوي:

$$\delta = 90^\circ - \gamma = \alpha + \beta \quad (1-2)$$

حيث الزاوية  $\gamma$  موجبة. أما إذا كانت زاوية الجرف سالبة عندها يكون  $\delta > 90^\circ$  من أجل  $\gamma = 0^\circ$  فإن  $\delta = 90^\circ$

زاوية الاقتراب الرئيسية  $\varphi$ :

هي الزاوية المحصورة بين مسقط الحد القاطع الرئيسي على المستوى الأساسي واتجاه التغذية الطولية.

زاوية الاقتراب المساعدة  $\varphi_1$ :

هي الزاوية المحصورة بين مسقط الحد القاطع المساعد على المستوى الأساسي واتجاه التغذية الطولية .

زاوية ميل الحد القاطع الرئيسي  $\lambda$ :

هي الزاوية المحصورة بين الحد القاطع الرئيسي لأداة القطع والمستوي المار من قمة القلم بشكل يوازي المستوى الأساسي. الزاوية  $\lambda$  تقاس في المستوى العمودي على المستوى الأساسي الذي يمر عبر الحد القاطع الرئيسي، ويمكن أن تكون موجبة ( $\lambda > 0$ ) أو سالبة ( $\lambda < 0$ ) أو مساوية للصفر  $\lambda = 0$  كما في الشكل (٦-١).

تكون الزاوية  $\lambda$  موجبة عندما تكون قمة القلم أخفض نقطة في الحد القاطع الرئيسي (شكل ٦-١-١)، وسالبة عندما تكون قمة القلم أعلى نقطة في الحد القاطع الرئيسي (شكل ٦-١-٢)، وتكون مساوية للصفر عندما يكون الحد القاطع الرئيسي موازياً للمستوي الأساسي (شكل ٦-١-٣)

إن أقلام القطع بزاوية ميل  $\lambda > 0$  هي أكثر متانة وأطول عمراً، لذلك تستخدم هذه الأقلام في تشغيل المعادن عالية المقساوة. ولهذه الزاوية أثر واضح على توجيه الرايش بالنسبة للسطح الأمامي لقلم القطع. من أجل  $\lambda = 0$  يتحرك الرايش عمودياً على الحد القاطع.



زاوية رأس الحدة القاطع لقلم القطع  $\varepsilon$ :

هي الزاوية المحصورة بين مسطقي الحدين القاطعين الرئيسي والمساعد على المستوي الأساسي، وحسب الشكل (١-٥) نجد:

$$\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ \quad (1-3)$$

زاوية الخلوص المساعدة  $\alpha_1$  (الثانوية):

هي الزاوية المحصورة بين السطح الخلفي المساعد (الثانوي) لقلم القطع والمستوي المار عبر الحد القاطع المساعد عمودياً على المستوي الأساسي.

كما بينا سابقاً فإن زوايا القلم الرئيسية  $\alpha$  و  $\gamma$  والزوايا المساعدة  $\alpha_1$  و  $\gamma_1$  تقاس في المستوي القاطع الرئيسي  $N-N$  (شكل ١-٧) (مستوي الإسناد الرئيسي) أو المستوي القاطع الثانوي (المستوي 2 شكل ١-٥).

ويكون من الضروري أحياناً العودة وتحديد زوايا القلم التي تقع وتقاس في المستويين الطولي  $\gamma-\gamma$  (الموازي لمحور القلم) والعرضي  $X-X$  العمودي على محور القلم كما في الشكل (١-٧). هذه الزوايا هي:

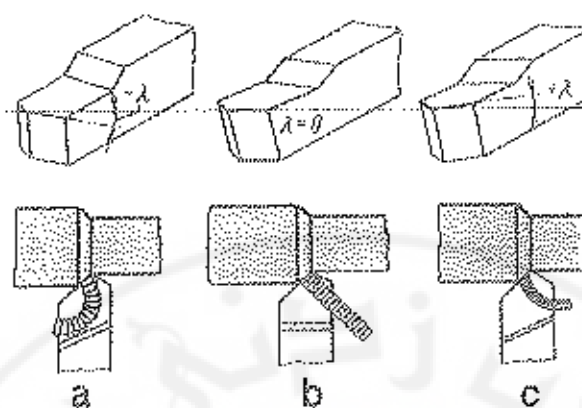
$\alpha_n$  - زاوية الخلوص العرضية.

$\gamma_n$  - زاوية الجرف العرضية.

$\alpha_{np}$  - زاوية الخلوص الطولية.

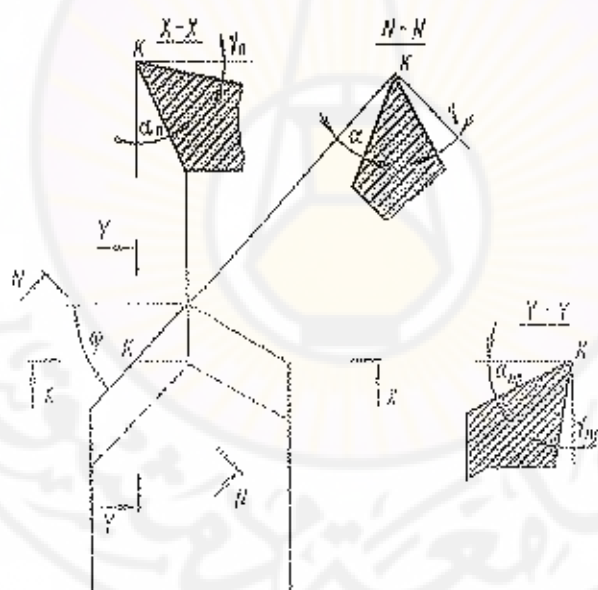
$\gamma_{np}$  - زاوية الجرف الطولية.

وهذه الزوايا ضرورية من أجل ضبط قلم القطع على آلات شحذ الأسنان من أجل الحصول على الزوايا المطلوبة لهذه الأقلام.



الشكل (٦-١)

زاوية ميل أحد القاطع الرئيسي  $\lambda$



الشكل (٧-١)

تخطيط العلاقة بين زوايا انحدار وزوايا الجرف في المستويات (الرئيسي، الطولي، العرضي ومستويات الإسناد).

هذه الزوايا ترتبط فيما بينها بالعلاقات التالية:

١- إذا كانت زاوية ميل الحد المقاطع  $\lambda$  موجبة:

$$\begin{cases} \tan J_{np} = \tan J \cdot \cos \varphi - \tan \lambda \cdot \sin \varphi; \\ \tan J_n = \tan J \cdot \sin \varphi + \tan \lambda \cdot \cos \varphi; \end{cases} \quad (1-4)$$

٢- الزاوية  $\lambda$  سالبة:

$$\begin{cases} \tan J_{np} = \tan J \cdot \cos \varphi + \tan \lambda \cdot \sin \varphi; \\ \tan J_n = \tan J \cdot \sin \varphi - \tan \lambda \cdot \cos \varphi; \end{cases} \quad (1-5)$$

كما هو معلوم الزاوية  $\lambda$  صغيرة نسبياً وتتغير ضمن الحدود  $(0 \dots \pm 5^\circ)$ ، والحد الثاني صغير ويمكن إهماله، عندها تصبح المعادلات  $(1-x)$  من الشكل:

$$\begin{cases} \tan J_{np} = \tan J \cdot \cos \varphi; \\ \tan J_n = \tan J \cdot \sin \varphi; \end{cases} \quad (1-6)$$

وبشكل مماثل لما سبق يمكن الحصول على قيم زاوية الخلوص الطولية  $\alpha_{np}$  والعرضية  $\alpha_n$  بالعلاقات التالية:

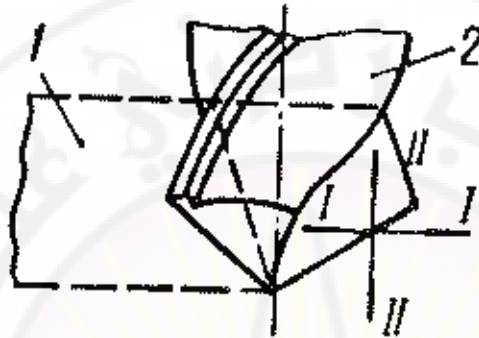
$$\begin{cases} \tan \alpha_{np} = \tan \alpha / \cos \varphi; \\ \tan \alpha_n = \tan \alpha / \sin \varphi; \end{cases} \quad (1-7)$$

العلاقات المذكورة أعلاه والتي تحدد قيم زوايا الخلوص والجسرف (الزاوية الخلفية والزاوية الأمامية) في مختلف مستويات الإسناد تعتبر صحيحة لثلاث أدوات القياس. ولكن من أجل بعض أدوات القاطع مثل أقلام التشكيل، ريش الثقب والتوسيع، ذكور وانغم القلوزة فإن حساب الزوايا الطولية يجب أن يتم بالعلاقات الخاصة بالزوايا العرضية، وبالعكس حساب الزوايا العرضية يتم وفق علاقات الزوايا الطولية.

٣- تصميم ريش الثقب:

على سبيل المثال سوف ندرس تصميم وزوايا ريشة الثقب. على فرض أن مستطال الحد المقاطع الرئيسي لريشة الثقب (2) متطابق مع الجزء المقاطع لقلم حراطة طولية (1) كما

في الشكل (٨-١). في هذه الحالة المستوي  $I-I$  يعتبر مستوياً طولياً لقلم الخراطة وبالوقت نفسه هو مستوٍ عرضي بالنسبة لريشة الثقب. المستوي  $II-II$  على العكس، هو مستوٍ طولي بالنسبة للريشة وعرضي بالنسبة لقلم الخراطة.



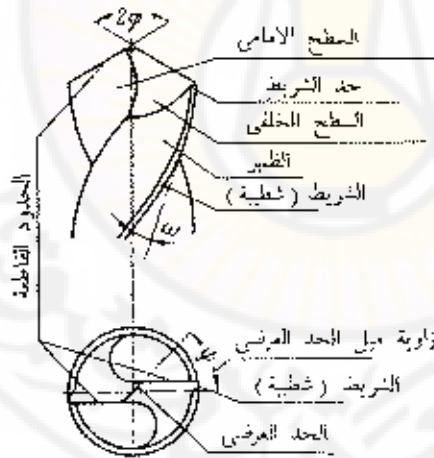
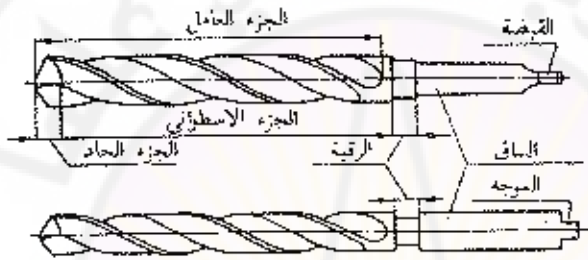
الشكل (٨-١)

توضيح حالة التماثل بين الحد القاطع لريشة الثقب  
مع الحد القاطع لقلم الخراطة  
١- قلم خراطة طولية، ٢- الريشة

الشكل (٩-١) يبين ريشة ثقب حفزونية والأجزاء (العناصر) المكونة لها، وهي:  
١- الجزء العامل: وهو عبارة عن جزء أسطواناني نهايته مخروطية، مشكّل على محيطه بچارٍ لولبية (على الغالب ببحريان)، وعلى مقدمته تم تشكيل الجزء القاطع للريشة وفق زوايا محددة. ويتكون الجزء القاطع من الحدين القاطعين الرئيسيين، والحسد القاطع العرضي بالإضافة إلى الحدين الشريطين.

كما يحتوي الجزء العامل على الأشرطة اللولبية (الحدين الشريطيين)، وهي عبارة عن أشرطة لولبية ضيقة تمتد على طول كل انجاري اللولبية (الحلزونية) وهي على الغالب بحريان وشريطان لولبيان.

b- الساق: وهو الجزء العلوي من ريشة الثقب المخصص لتثبيتها على آلة التشغيل. ريش الثقب التي يزيد طولها عن 10mm، فهي ذات ساق مخروطية وتثبت بواسطة ماسك خاص.



الشكل (٩-١)

العناصر والزوايا الرئيسية لأداة التشقيب

سوف نتعرف على البارامترات الهندسية لريش الثقب الحلزونية والمبينة في الشكل (١٠-١) لريش الثقب، أيضاً كما لأقلام الخراطة زوايا حرف  $\gamma$  وخلوص  $\alpha$ ، ومسح مراعاة عدم تكرار حساب الزوايا الرئيسية  $(\gamma, \alpha)$  التي تم تحديدها سابقاً بسبب وجود تماثل بين بعض زوايا ريشة الثقب وزوايا قلم الخراطة، يجب الإشارة إلى وجود بعض الخصوصية في هندسة وتصميم ريش الثقب، ووجود بعض البارامترات الهندسية الخاصة بها. بالإضافة إلى زاوية الاقتراب الرئيسية  $\varphi$  وزاوية الاقتراب المساعدة  $\varphi_1$  في المستوي الرئيسي، تتميز ريش الثقب بوجود زاوية رأس الريشة  $2\varphi$  كما هو مبين على الشكل (١٠-١).

حتى لا يحصل استعصاء لريشة الثقب داخل الثقب المشغلي فإن الجزء العامل لريشة الثقب يمتلك مخروطية عكسية على طول محور الريشة بحيث يكون قطر الريشة عند الرأس  $D$  يمثل القطر الأعظمي ، وحتى لا يحصل تغير ملحوظ في قطر الريشة بعد عمليات شحذ حدودها القاطعة، فإن درجة المخروطية تكون قليلة جداً وهي محدود  $0,03 \dots 0,15 \text{ mm}$  لكل  $100 \text{ mm}$  من طول الريشة، أي أن الزاوية  $\varphi_1$  لا تتجاوز  $10'$  (دقائق) ، وتحدد قيمتها بالعلاقة:

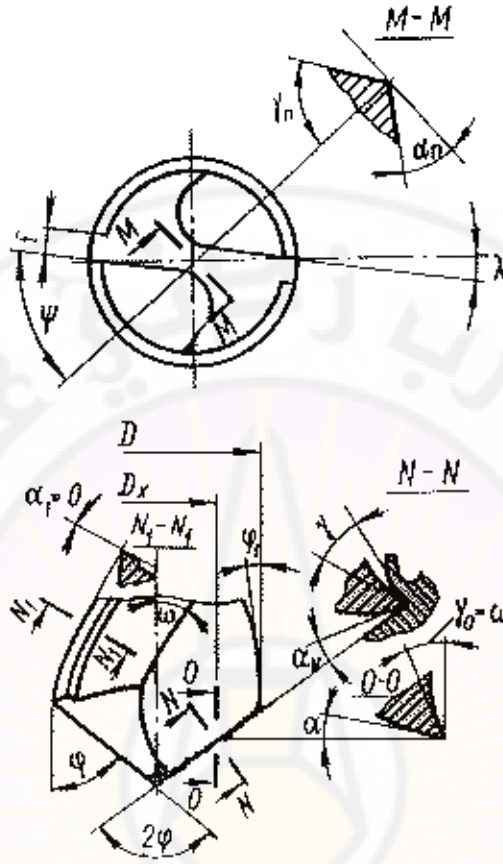
$$\tan \varphi_1 = (D - D_1) / 2l \quad (1-8)$$

حيث  $D$  - قطر ريشة الثقب عند الرأس،

$D_1$  - قطر ريشة الثقب عند نهاية الجزء العامل للريشة،

$l$  - طول الجزء الأسطواني المحزون من الريشة.

إن مسار حركة نقاط الحدود القاطعة للريشة تتوضع على السطوح الأسطوانية التخيلية (الزهرية) المتطابقة مع محور الريشة. على هذه السطوح يمكن تحديد الزوايا الرئيسية الخلفية (زوايا الخلوص  $\alpha$ ) للريشة. في هذه الحالة فإن الزاوية الخلفية الرئيسية  $\alpha$  للريشة تعتبر زاوية خلفية طولانية كما هو مبين على الشكل (١١-١).



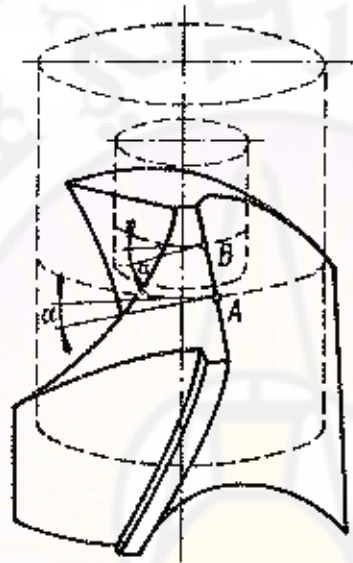
الشكل (١٠-١)

البارامترات الهندسية لريشة الثقب

من أجل تقليل احتكاك الريشة مع سطح الثقب المشغل، فإن التلامس بين الريشة والثقب يتم فقط وفق الشرائط الأولية للريشة والمتوضعة على طول المحاري الفولبيسة (أنظر الشكل ٩-١)، بينما باقي جسم الريشة يحضّر وفق قطر أقل من قطر الثقب

المشغل بحيث لا يحصل تلامس بينهما. في هذه الحالة فإن حافة الشريط اللولبي تشكل حداً قاطعاً مساعداً لريشة الثقب.

إن المجاري اللولبية على الجزء العامل للريشة تقوم بوظيفة توجيه وإبعاد الرايش الناتج إلى خارج الثقب المشغل.



الشكل (١١-١)

تشكل الزاوية الخلفية (زاوية الخلوص) على رأس الريشة في المقاطع الأسطوانية

زاوية ميل المجاري اللولبية  $\omega$ :

هي الزاوية المحصورة بين الخط المماس للمجرى اللولبي على سطح الريشة والمستقيم الموازي لمحور الريشة. تتعقّب قيمة هذه الزاوية بمقدار قطر الريشة، وهي تقع بمحدود  $18 \div 30^\circ$  عند تشغيل الفولاذ وحديد الصب، حيث تؤخذ القيمة الصغرى للثقوب ذات القطر الأدنى.



إن زاوية ميل الجرى الحفزي  $\omega$  ليست ثابتة بالنسبة لمختلف نقاط الحد القاطع، فعلى حافة الشريط اللولبي تكون الزاوية  $\omega$  أعظمية، بينما في باقي نقاط الحد القاطع الرئيسي تكون الزاوية  $\omega$  أقل، وتتناقص كلما اقتربت النقطة المعنية من محور الريشة.

### زاوية الجرف $\gamma$ (الزاوية الأمامية) لريشة الثقب :

هي الزاوية المحصورة بين مماس الوجه في نقطة محددة في الجرى اللولبي والخط العمودي على الحد القاطع في تلك النقطة كما هو مبين على الشكل (١-١٢). تقاس زاوية الجرف في المستوي العمودي على الحد القاطع (المستوي  $B-B$  في الشكل ١-١٢)، وهي ليست ذات قيمة ثابتة، وإنما تتغير تدريجياً على طول الحد القاطع الرئيسي، ويمكن حسابها بالعلاقة:

$$\tan \gamma_x = \frac{r_x \tan \omega}{R \sin \phi} \quad (1-9)$$

حيث  $r_x$  - نصف قطر الدائرة التي أخذت منها النقطة  $x$  لحساب زاوية الجرف عندها.

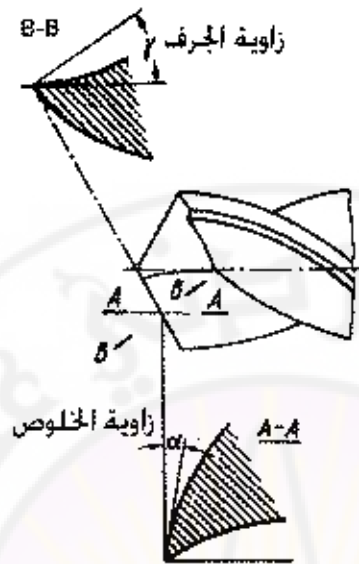
$R$  - نصف قطر ريشة الثقب.

$\phi$  - نصف زاوية رأس الريشة.

تكون قيمة زاوية الجرف للحد القاطع أعظمية عند حافة الريشة (الزاوية  $\gamma_1 = \gamma_{\max}$  كما في الشكل ١-١٣) وتتناقص تدريجياً باتجاه المركز. لزاوية الجرف عند حافة الريشة قيمة سالبة، أي أن زاوية القطع أكبر من  $90^\circ$  ( $\delta > 90^\circ$ ). إن تغير زاوية الجرف على طول الحد القاطع هو عيب أساسي لريش الثقب الحلزونية، ويسؤدي إلى تعقيد عملية تشكيل الرايش.

### زاوية ميل الحد القاطع العرضي ( $\psi$ ):

هي الزاوية المحصورة بين الحد القاطع الرئيسي والحد القاطع العرضي (الأشكال ١-٩ و ١-١٠)، قيمة هذه الزاوية محدود ( $55^\circ - 50^\circ$ ).



الشكل (١٢-١)

التغيير في زاوية الجرف على طول الحد القاطع الرئيسي لريشة الثقب

#### ٧-١- مقاطع التفريز:

بشكل مماثل لما سبق يمكن أن ندرس تصميم مقاطع التفريز والبارامترات الهندسية الرئيسية لها.

مقطع التفريز: هو عبارة عن أداة قطع (سكينه تفريز) متعددة الحدود القاطعة، تستخدم من أجل تشغيل السطوح المستوية، المجاري والشقوق، الأجسام الدورانية، اللولب، السطوح التشكيلية وغيرها. وتستخدم من أجل ذلك أشكال وتصاميم مختلفة من أدوات القطع (مقاطع التفريز) كالمبينة في الشكل (١٤-١): مقاطع تفريز أسطوانية لتشغيل السطوح المستوية (شكل ١٤-١-أ)، جبهة (١٤-١-ب)،

واحد في عملية القطع.

الشكل (١٣-١)

زوايا الجرف وزوايا الخلوص لأداة تنقيب حلزونية

زوايا الجرف وزوايا الخلوص لأداة تثقيب حلزونية

من حيث الشكل الهندسي فإن مقطع التفريز هو عبارة عن جسم دوراني تتوضع على سطحه الأسطواني الخارجي ، أو على سطحه الجبهي مجموعة من الأسنان (الحدود) المقاطعة. وبغض النظر عن التصميم المختلفة لمقطعات التفريز ، فإن مختلف عمليات التفريز يمكن تصنيفها إلى تفريز أسطواني وتفريز جبهي (شكل ١-١٥).

في عمليات التفريز الأسطواني يكون محور أداة التفريز موازياً للسطح المشغل (الشكل ١-١٥-١) ، وتم عملية القطع بواسطة الأسنان المقاطعة المتوضعة على السطح الأسطواني لأداة القطع.

في عمليات التفريز الجبهي (الواجهي) يتوضع محور أداة التفريز عمودياً على السطح المشغل (شكل ١-١٥-٢) ، حيث تتوضع على محيط السطح الجبهي للأداة مجموعة من الأسنان المقاطعة بالإضافة إلى الأسنان المتوضعة على السطح الأسطواني.

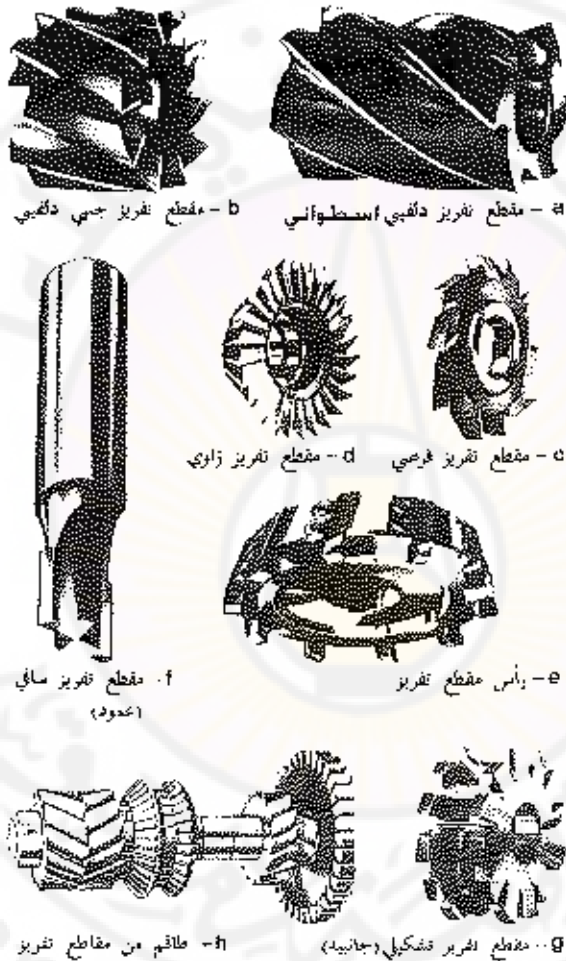
على السطح الأسطواني لمقطع التفريز يتم تشكيل مجارٍ طولية من أجل تجميع ونقل الرابيش الناتج من منطقة القطع. في مكان تقاطع حافة المجرى الطولي مع السطح الأسطواني لمقطع التفريز الأسطواني يتم تشكيل (بتخليل) الحدود المقاطعة للمقطع.

من أجل تأمين سلاسة واستقرار أكبر في عمل مقطع التفريز الأسطواني وتقليل عدد الأسنان المشتركة بأن واحد، وفي عملية القطع يتم تشكيل المجاري والأسنان على سطح مقطع التفريز الأسطواني بشكل حلزوني (الشكل ١-١٤-١) ، والشكل ١-١٧-٢.

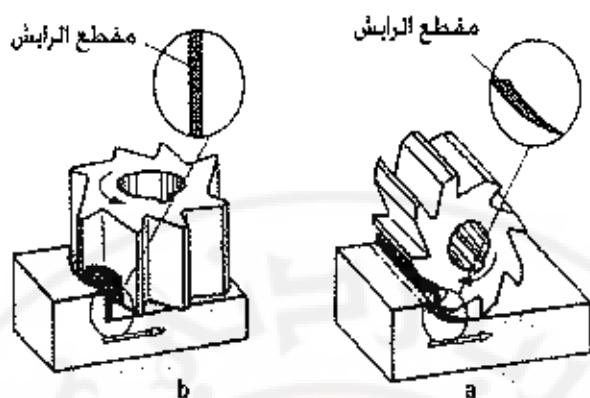
### هندسة مقطع التفريز:

إن كل سن في مقطع التفريز يمثل أداة قطع بسيطة على شكل قلم خراطة أو قشط كما في (الشكل ١-١٦-١) ، وله الزوايا نفسها التي تعرفنا عليها سابقاً في دراستنا لأقلام الخراطة.

الوجه 6 للسن القاطع يسمى بالوجه الأمامي للمقطع المستوي الأساسي ، أما السطح 7 فيمثل السطح الجانبي ويسمى ساق القطع، الخط الناتج عن تقاطع الوجه الأمامي مع السطح الجانبي يشكل الحد القاطع (3) للمقطع.



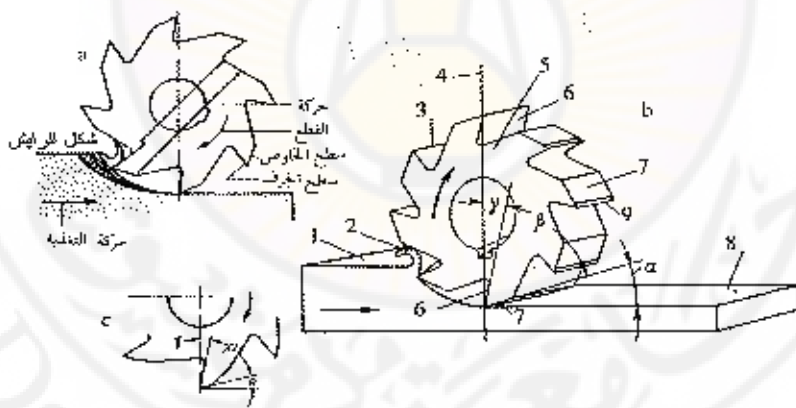
الشكل (١-١٤) التصاميم الرئيسية لمقاطع التفريز



الشكل (١-١٥) أشكال عمليات التفريز :

*a* - تفريز أسطواني

*b* - تفريز جبهوي (واجهي)



الشكل (١-١٦)

عناصر مقطع التفريز ومقارنته مع قلم الخراطة

زاوية الشفة  $\beta$  : هي الزاوية المحصورة بين وجه السن 6 والسطح 7.

زاوية الخلوص  $\alpha$  : هي الزاوية المحصورة بين السطح الجانبي للمقطع والسطح المشغل 8.

زاوية الجرف  $\gamma$  : هي الزاوية المحصورة بين وجه السن الأمامي 6 والمستوي العمودي على السطح المشغل (4) والمار بالحد القاطع . وجميع هذه الزوايا تقاس بالدرجات.

إن كلاً من الأبعاد الهندسية لمقطع التفريز (قطره الخارجي، أبعاده وشكل فراغ السن وارتفاعه) وعدد الأسنان وخطواتها بالإضافة إلى مقادير الزوايا القاطعة تمثل مجموعها ما يعرف بهندسة مقطع التفريز.

بسبب تنوع أشكال وتصاميم مقاطع التفريز فإن لكل نوع منها هندسته الخاصة التي تميزه عن غيره من الأنواع الأخرى.

#### هندسة مقطع التفريز الأسطواني:

يبين الشكل (١-١٧) مقطعات التفريز الأسطوانية التي تستخدم لعمليات التفريز المستوي بحيث يكون محور المقطع موازياً للسطح المشغل، ومنها نوعان:

أ- مقاطع أسطوانية مستقيمة الأسنان (شكل ١-١٧-أ)

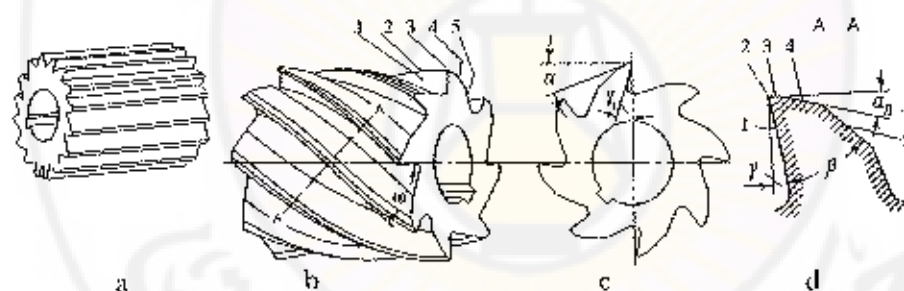
ب- مقاطع أسطوانية لولبية الأسنان (شكل ١-١٧-ب) وهي إما أن تكون يسارية أو يمينية وذلك حسب اتجاه التفاف اللولب المشكل للسن.

إن استخدام مقاطع التفريز الأسطوانية مستقيمة الأسنان في الوقت الحاضر لتشغيل السطوح المستوية قليل جداً بسبب ما ينشأ عنها من أحمال صدم واهتزازات تسيء لعملية التشغيل ولتنوع السطح المشغل، وذلك بسبب أن السن على كامل طوله ينغرس دفعة واحدة في المشغولة ويتركها دفعة واحدة.

أما مقاطع التفريز اللولبية فهي الأكثر استخداماً لتشغيل السطوح المستوية وذلك بسبب سلاستها في العمل، وذلك بسبب أن كل سن ينغرس في المشغولة تسدريجياً، وكذلك يخرج منها بالتدريج، بالإضافة إلى اشتراك سنين على الأقل في كل لحظة في عملية القطع مما يخفف من الحمل والصدم على أسنان القطع.

وبين الشكل (١٧-١) عناصر مقطع التفريز اللولبي:

السطح 1 هو الوجه الأمامي للمقطع (اللسن) (المستوي الأساسي)، والحد القاطع 2 والشریط الأسطوانى 3 وعرضه محدود  $0,05 - 0,1mm$  والسطح الجسائى 4 والسطح الخلفى 5. يميل الحد القاطع على محور مقطع التفريز بزاوية  $\omega$  تقع بمحدود  $(10 - 55^\circ)$ ، وذلك حسب نوع المقطع، وإن زيادة الزاوية  $\omega$  تحسن من شروط عمل مقطع التفريز، وتساعد على توجيه حركة الرايش الناتج.



الشكل (١٧-١)

مقطع التفريز الأسطوانى:  $a$  - ذو أسنان مستقيمة،  $b$  - ذو أسنان لولبية،

$d, c$  - عناصر مقطع التفريز اللولبي

وبين الشكل (١٧-١) الزوايا الرئيسية الثلاث: زاوية الجرف  $\gamma$ ، زاوية الشفى  $\beta$  وزاوية الخلوص العمودية  $\alpha_n$  التي تقاس في مستوي  $(A-A)$ . عمودياً على الحسد



القاطع، بينما زاوية الخلوص  $\alpha$  تقاس في مستوي عمودي على محور مقطع التفريز، أي في المستوي الطرقي لمقطع التفريز، وفي المستوي نفسه يمكن مشاهدة زاوية الحرف  $d_1$  (شكل ١-١٧-٢).

وكلما كبرت زاوية الخلوص كلما قل الاحتكاك ، وبالتالي يقل اهتراء الحد القاطع، ولكن زيادة زاوية الخلوص يؤدي إلى تقليل زاوية الشفة  $\beta$  ، وبالتالي إضعاف السن وقلة متانته. لذلك عند تفريز الصلب عالي القساوة تؤخذ زاوية حرف سالبة وذلك لزيادة قيمة الزاوية  $\beta$  .

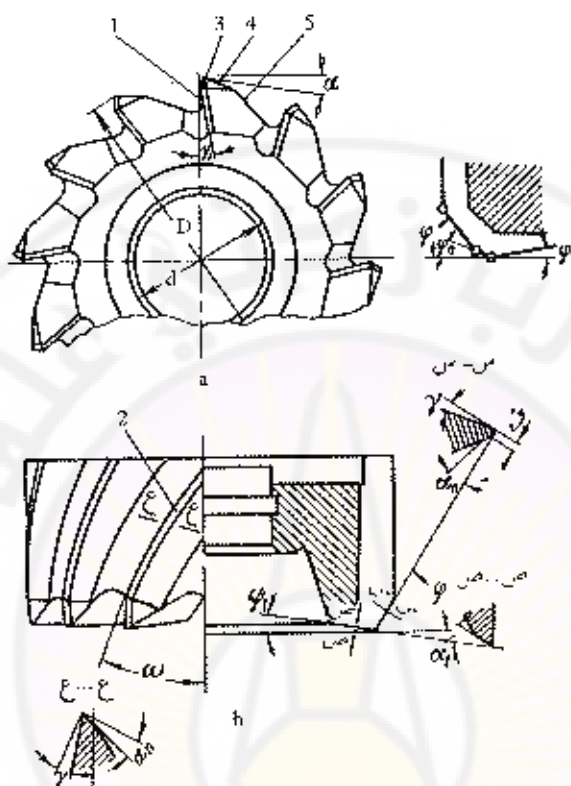
زاوية الحرف  $\gamma$  (الزاوية الأمامية الرئيسية) تؤمن تصريف الرايش على الوجه الأمامي لسن مقطع التفريز، وتقاس في المستوي العمودي على الحد القاطع (المستوي س-س) ، وفي هذا المستوي أيضاً تقاس زاوية الخلوص العمودية  $\alpha_n$  .

### مقطع التفريز الجبهي (الواجهي):

يستخدم مقطع التفريز الجبهي (الواجهي) لتفريز السطوح المستوية الواجهية والجانبية ويكون محوره أثناء التشغيل عموداً على السطح المشغل (الشكل ١-١٥-٢) ويبين الشكل (١-١٨) العناصر الهندسية لمقطع التفريز الواجهي، وأهم ما يميز هذا المقطع بالمقارنة مع المقطع الأسطواني، هو وجود حدين قاطعين:

- ٢- حد قاطع رئيسي يوجد على السطح الأسطواني لمقطع التفريز .
  - ٣- حد قاطع إضافي ثانوي مشكّل على السطح الجبهي (الجاني لمقطع التفريز) .
- بالنسبة للحد القاطع الرئيسي المشكّل على السطح الأسطواني (ذي الأسنان المستقيمة أو اللولبية) يكون مشابهاً للحد القاطع في المقطع الأسطواني، وله العناصر الهندسية نفسها (السطح الأمامي، والسطح الجاني وزوايا القطع  $\alpha, \beta, \gamma$ ) .

عناصر سن الحد القاطع الثانوي الموجودة على السطح الجيهي (الجاني) العمودي على محور مقطع التفريز مبينة على الشكل (١٨-١-١).

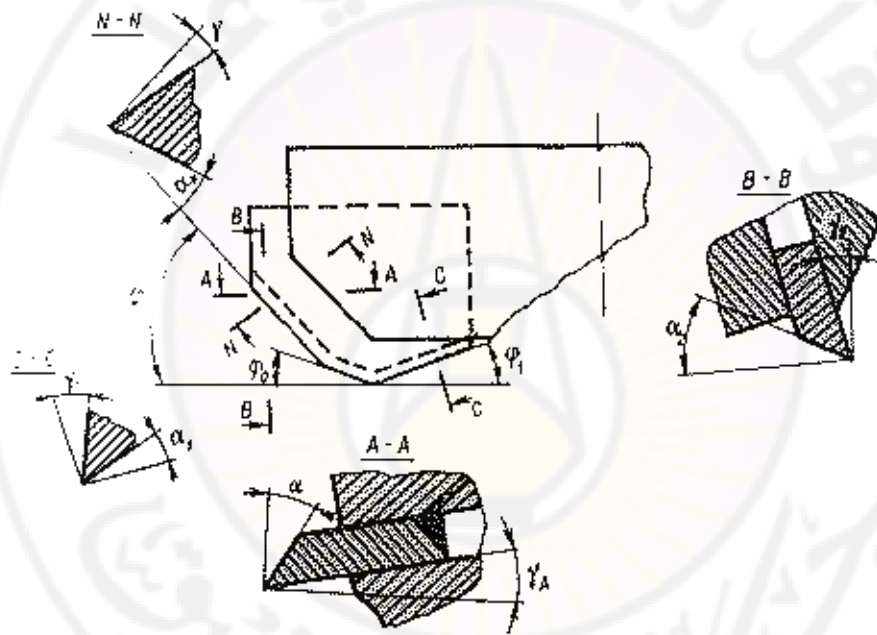


الشكل (١٨-١)

عناصر مقطع التفريز الجيهي اللولبي الأسنان

زاوية الجرف في هذه الحالة هي زاوية ميل الحد القاطع اللولبي  $\omega$  نفسها، والتي يطلق عليها في مقطعات التفريز الواجعية اسم زاوية الجرف المحورية.

من أجل تسهيل عملية القطع بملحج الحد القاطع الأساسي للمقطع بزاوية  $\varphi$  هي زاوية الاقتراب الأفقية الرئيسية، ولتقليل احتكاك السن بالسطح المشغل بملحج الحد القاطع الثانوي بزاوية  $\varphi_1$ ، تسمى بزاوية الاقتراب الأفقية الثانوية. زاوية الجرف الرئيسية  $\gamma$  (الزاوية الأمامية) لمقطع التفريز الجبهي تقاس في المستوي  $N-N$  العمودي على الحد القاطع، كما في الشكل (١٩-١). هذه الزاوية محصورة بين مماس السطح الأمامي لسن المقطع والمستوي الرئيسي.



الشكل (١٩-١)

الزوايا الرئيسية لمقاطع التفريز الجبهي

زاوية الخلوص  $\alpha$  (الزاوية الرئيسية الخلفية) لمقطع التفريز الجبهي تقاس في المستوي العمودي على محور أداة القطع (المستوي  $A-A$ ) والمنطبق مع اتجاه التغذية.

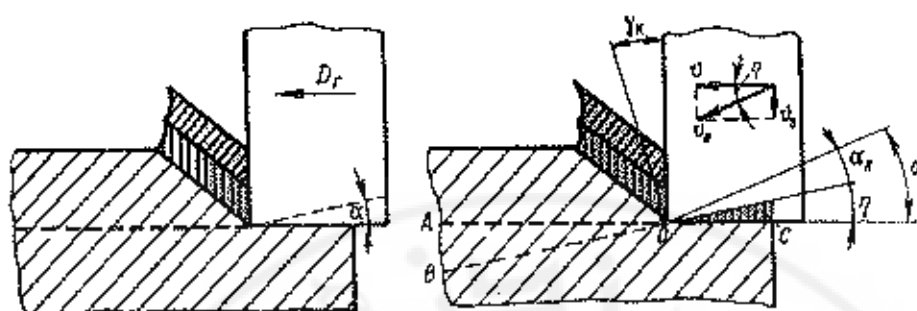
## ١-٨- العلاقة بين زوايا الشحذ والزوايا العاملة لأقلام القطع :

بيننا سابقاً إنجاز عملية التشغيل بالقطع من خلال الحركة النسبية لأداة القطع بالنسبة للسطح المشغل . إن زوايا أداة القطع يمكن أن تتغير خلال عملية التشغيل، وهذا يمكن ملاحظته عندما يُشغل مستوي القطع وضعية أخرى غير التي يشغلها في جملة إحداثية ستاتيكية. بالإضافة إلى ذلك، البارامترات الهندسية للجزء القاطع لأدوات القطع السبي يتم الحصول عليها، بعد شحذ هذه الأدوات يمكن أن تتغير نتيجة لتغير وضعية قلم القطع بالنسبة للمستوي الأساسي، أو بسبب توضع رأس قلم القطع أعلى أو أخفض من محور اللبنتين في الآلة أو بالنسبة لمحور العنصر المشغل ، أو نتيجة لاهتراء السطوح العاملة لأداة القطع.

على فرض أن عملية القطع تنجز وفق المخطط المبين على الشكل (١-٢٠)، حيث يستخدم كأداة للقطع قضيب موشوري الشكل له الزوايا الستاتيكية التالية:  $\alpha = 0^\circ$  و  $\gamma = 0^\circ$ . على الشكل (١-٢٠-٢) لا توجد حركة تغذية حيث إنه في هذه الحالة يتطابق مستوي القطع مع المستوي الستاتيكي، لذلك فإن الزوايا الكينماتيكية تطابق أيضاً الزوايا الستاتيكية.

بما أن زاوية خلوص أداة القطع معدومة ( $\alpha = 0^\circ$ ) فإن الاحتكاك يزداد كثيراً بين السطح الخلفي لأداة القطع والسطح الجاري تشغيله. من أجل تقليل الاحتكاك بين هذين السطحين من الضروري تشكيل زاوية خلوص موجبة  $\alpha$  (زاوية خلقية) على السطح الخلفي لأداة القطع.

لنفترض الآن أنه يتم تزويد أداة القطع بحركتي قطع تتمان معاً بأن واحد، كما في الشكل (١-٢٠-٣)، الحركة الأولى وهي الرئيسية (حركة القطع) تتم بسرعة  $v$ ، والثانية (هي حركة تغذية) تتم بسرعة  $v_f$ . السرعة المحصلة التي ستتحرك بها أداة القطع تساوي  $v_f$  (شكل ١-٢٠-٣).



الشكل (٢٠-١)

مخطط تغيير الزوايا الستاتيكية لأقلام القطع

خلال عملية القطع :  $\alpha = 0^\circ (a)$  ،  $\alpha \neq 0^\circ (b)$

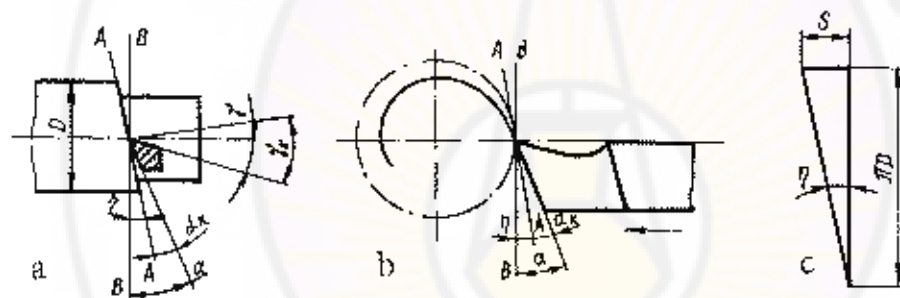
في هذه الحالة فإن مسار حركة الحد القاطع سيكون وفق خط مستقيم مائل  $OB$  يوازي محصلة سرعة القطع  $v_c$ . هذا الخط المستقيم يمثل أثر مستوي القطع في عملية التشغيل. وهكذا فإن مستوي القطع خلال عملية التشغيل سوف يشغل وضعية أخرى غير التي يشغلها في حالة التوقف، حيث أن أثر مستوي القطع في حالة التوقف هو الخط المستقيم  $OA$ ، بينما خلال عملية التشغيل هو المستقيم  $OB$  (شكل ٢٠-١- $a$  -  $b$ ) ، زاوية الجرف الستاتيكية معدومة  $\gamma = 0^\circ$ ، بينما زاوية الجرف الكينماتيكية  $\gamma_k$  ذات قيمة موجبة. زاوية الخلوص الستاتيكية (الزاوية الخلفية)  $\alpha = 0^\circ$ ، وخلال عملية القطع لها قيمة سالبة. في هذه الحالة، فإن انحياز عملية القطع يصبح ممكناً فقط بشرط حصول تشوه لدن وضغط الطبقة  $C$  من العنصر المشغل بواسطة السطح الخلفي الرئيسي لأداة القطع، من أجل تأمين شروط مناسبة (جيدة) لعملية القطع يجب أن تكون زاوية الخلوص  $\alpha$  أكبر من الزاوية  $\eta$ ، حيث  $\tan \eta = v_r / v_c$  (شكل ٢٠-١- $b$ ).

يبين الشكل (٢١-١) بشكل تخطيطي مبسط عمل قلم القطع في عملية الخراطة الطولية، حيث زاوية الاقتراب الأفقية  $\varphi = 90^\circ$  وزاوية ميل الحد القاطع  $\lambda = 0^\circ$ . رأس أداة القطع يتوضع في مستوي محور المشغولة:

$B-B$  - وضعية مستوي القطع عند دوران المشغولة وعدم وجود حركة تغذية طولية  
 $A-A$  - يمثل وضعية مستوي القطع المماس لسطح القطع الحلزوني، وذلك عند وصل حركة التغذية،

$\alpha_n$  - زاوية الخلوص الكينماتيكية،

١٧- الزاوية المحصورة بين اتجاه محصلة سرعة القطع والحركة الرئيسية، وتسمى بزاوية سرعة القطع.



الشكل (٢١-١)

تغير زوايا قلم القطع خلال عملية التشغيل:

$a$  - خراطة طولية،  $b$  - خراطة عرضية،  $c$  - تشكل مسار الحد القاطع للقلم

عند الحركة فإن سطح القطع سوف يكون قريباً من السطح الخلفي لقلم القطع، وبسبب تغيير وضعية مستوي القطع فإن زاوية الخلوص الكينماتيكية (الزاوية الخلفية)

تتناقص:  $\alpha_k = \alpha - \eta$ . إذا نشرنا في المستوي دائرة الدوران والمسار اللولبي للحد القاطع (لرأس قلم القطع) خلال دورة واحدة للمشغولة، فإننا نحصل على مثلث قائم ضلعاه القائمتان هما مقدار التغذية  $s$  ومحيط الدوران  $\pi D$ ، أما وتره فيمثل المسار اللولبي لرأس القلم، ومن هنا نجد أن قيمة الزاوية  $\eta$  تساوي:

$$\tan(S_0/2\pi D) \eta = \arccos \quad (1-10)$$

ومن هنا نجد أنه بزيادة مقدار التغذية تزداد زاوية ميل المسار اللولبي للحد القاطع للقلم (وهذا المسار اللولبي هو الذي يشكل سطح القطع)، أما زاوية الخلوص الكينماتيكية  $\alpha_k$  فسوف تتناقص.

بما أن نقاط الحد القاطع تقع على دوائر مختلفة الأقطار من المشغولة مما ينتج عنه أن زوايا ميل المسارات اللولبية لمختلف نقاط الحد القاطع ستكون مختلفة أيضاً. كلما قل قطر المشغولة تناقصت بشكل كبير زاوية الخلوص، حيث يكون ميل المسار اللولبي أكبر.

إذا كان لقلم القطع زاوية اقتراب أفقية قائمة  $\varphi = 90^\circ$ ، فإن اتجاه حركة التغذية سوف يتطابق مع مستوي الإسناد الرئيسي (المستوي القاطع الرئيسي) والذي تقاس فيه زاوية الخلوص  $\alpha$ . إذا كانت  $\varphi \neq 90^\circ$ ، فإن زاوية سرعة القطع والمقاسة في مستوي الإسناد الرئيسي (المستوي القاطع)، يمكن تحديدها بالعلاقة:

$$\tan \eta_\varphi = \tan \eta \cdot \sin \varphi \quad (1-11)$$

وزاوية الخلوص الكينماتيكية في مستوي الإسناد الرئيسي تساوي:

$$\alpha_k = \alpha - \eta_\varphi \quad (1-12)$$

في عمليات الخراطة الجانبية (العرضية)، فإن نقاط الحد القاطع للقلم ترسم خطاً منحنياً على شكل حلزون أرخميدس، وبالتالي فإن المماس لسطح القطع ومستوي القطع أيضاً سوف ينحرفان عن المماس باتجاه محيط الدوران، وكذلك زاوية الخلوص الكينماتيكية

سوف تتناقص. وكلما زادت قيمة التغذية وتناقص قطر العنصر المشغل الذي تتوضع عليه نقاط الحد القاطع، كلما زادت الزاوية بين مواضع مستوي القطع  $\eta$ ، وبالتالي فإن زاوية الخلوص الكينماتيكية في الخراطة الجانبية تساوي أيضاً:

$$\alpha_k = \alpha - \eta_\varphi$$

$$\tan \varphi = \tan \eta \cdot \sin \varphi \quad \text{حيث}$$

في هذه الحالة فإن زاوية الجرف  $\gamma$  سوف تزداد بمقدار الزاوية  $\eta_\varphi$ ، وذلك لأن المستوي الأساسي ليس ثابتاً ويغير موضعه (انظر الشكل ١-٢١) وكيفية تحديد زاوية الجرف). زاوية الشفة  $\beta$  لقلم القطع تبقى ثابتة. وهكذا فإنه خلال فترة عمل قلم القطع في مستوي الإسناد الرئيسي ستكون له زاوية جرف كينماتيكية  $\gamma_k$  تساوي:

$$\gamma_k = \gamma + \eta_\varphi$$

من أجل الحصول على زاوية جرف مثالية لقلم القطع خلال عملية التشغيل يتم شحذ وجهه الأمامي وزيادة زاوية الجرف بالمقدار  $\eta_\varphi$ ، وهذا يسبب نقصان زاوية الشفة  $\beta$  بالمقدار نفسه ويجعل ظروف عمل القلم أكثر سوءاً وصعوبة. من أجل المحافظة على شروط عمل مثالية يمكن إنقاص زاوية الجرف بالمقدار  $\eta_\varphi$ .

في بعض الحالات تتطلب عملية التشغيل ضبط وضعية رأس قلم القطع أعلى أو أخفض من محور الذنبين بقليل. إن زاوية ميل الحد القاطع لا سواء كانت موجبة أم سالبة تؤدي أيضاً إلى أن نقاط الحد القاطع للقلم تتوضع أعلى أو أخفض من محور المشغولة، في هذه الحالة سوف تتغير وضعية المماس لسطح القطع (وذلك بسبب تحذب أو تقعر سطح القطع).

وكما هو مبين على الشكل (١-١٢) زوايا الخلوص والجرف تساوي:

$$\begin{cases} \gamma_r = \gamma \mp \tau_\varphi \\ \alpha_r = \alpha \pm \tau_\varphi \end{cases} \quad (1-13)$$



إذا كانت  $\varphi = 0^\circ$  فإن:  $\sin(h/R) \tau = arc$

ومن أجل  $\varphi \neq 0^\circ$  فإن:  $\tan \tau_\varphi = \tan \tau \cdot \cos \varphi$

في هذه الحالة، خلال فترة عمل القلم في مستوي الإسناد الرئيسي (المستوي القاطع الرئيسي) ستكون له الزوايا الكينماتيكية التالية:

$$\begin{cases} \alpha_k = \alpha - \eta_\varphi \mp \tau_\varphi; \\ j_k = j + \eta_\varphi \mp \tau_\varphi. \end{cases} \quad (1-14)$$

إن قيم زاويتي الاقتراب الرئيسية  $\varphi$  والمساعدة  $\varphi_1$  يمكن أن تأخذ قيماً مختلفة تبعاً لوضعية قلم القطع بالنسبة لمحور العنصر المشغلي، وهذا التغيير في قيم الزوايا  $\varphi$  و  $\varphi_1$  مبين على الشكل (٢٣-١).

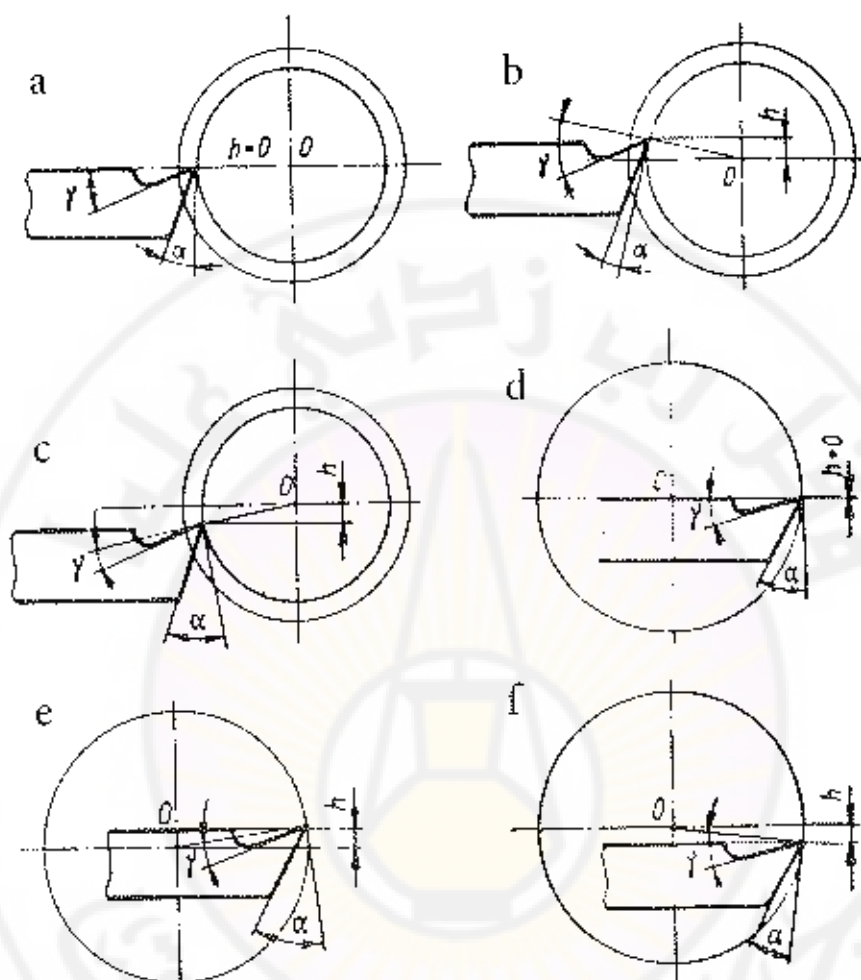
في عمليات التشغيل بالثقب تتناقص زاوية الخلوص الكينماتيكية، بينما تزداد زاوية الجرف  $\gamma_k$  بالمقدار  $\eta$  لكليهما، كما هو مبين على الشكل (١-٢٤). وبالنسبة لزاوية سرعة القطع  $\eta$  فإن لها قيماً مختلفة من أجل مختلف نقاط الحد القاطع، وتعطى بالعلاقة التالية من أجل أية نقطة  $x$  من الحد القاطع:

$$\tan \eta_x = S_0 / (2\pi l)_x \quad (1-15)$$

$$\alpha_k = \alpha - \eta$$

كلما توضع النقطة المعنية من الحد القاطع بشكل أقرب إلى محور الريشة صغر قطر السطح الأسطواني التي وفقه يتشكل مسار نقاط الحد القاطع، وبالتالي تتناقص بشكل ملحوظ خلال عملية التشغيل زاوية خلوص ريشة الثقب.

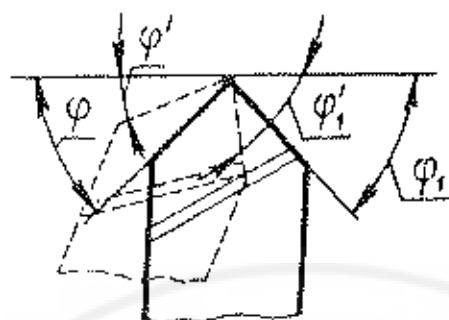
إن تناقص الخلوص بين السطح الخلفي لريشة الثقب وبين سطح المقطع أو عدم وجود هذا الخلوص يؤدي إلى زيادة الاحتكاك واهتراء ريشة الثقب، أو يجعل استمرار عمل الريشة غير ممكن.



الشكل (٢٢-١)

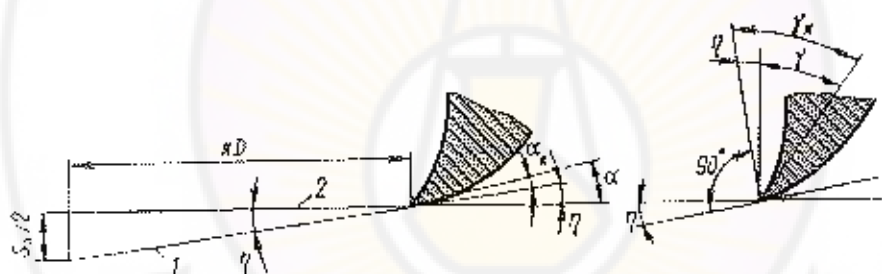
تأثير وضعية التثبيت لقلم القطع على زوايا القطع الرئيسية  $(\alpha, \delta)$  عند الخراطة الداخلية والخارجية

$a, b, c$  في عمليات الخراطة السطحية و  $d, e, f$  في عمليات الخراطة الداخلية.



الشكل (٢٣-١)

مخطط تغير الزوايا  $\varphi$  و  $\varphi_1$  تبعاً لوضعية قلم القاطع بالنسبة لمحور العنصر المشغل.  
(مسقط أفقي)



الشكل (٢٤-١)

وضعية كل من زاويتي الخلوص والجرف لريشة الثقب أثناء عملية القاطع:

١- منشور الخط الحلزوني

٢- منشور محيط الثقب

إن تقليل قيمة زاوية الخلوص، خلال عملية التشغيل، لنقاط الحد القاطع القريبة من محور ريشة الثقب تعدّ هامة للغاية، حتى عند التشغيل بقيم تغذية منخفضة. يعمل هذا

التقليل في قيمة زاوية الخلوص على تعديل (تعويض) زيادة زاوية الخلوص عند الشحذ بالمقدار:  $\alpha_z = \alpha + \eta$ .

إذا تم جلب السطح الخلفي لريشة الثقب بشكل مستو، بحيث تكون زاوية الخلوص ثابتة في مختلف نقاط الحد القاطع، مع الأخذ بعين الاعتبار التقليل الأعظمي الحاصل لقيمة زاوية الخلوص خلال عملية التشغيل:  $\alpha_z = \alpha + \eta_{\max}$ ، فإن عملية شحذ الريشة تصبح أسهل. لذلك من أجل ريش الثقب بزوايا خلوص كبيرة، تكون قيمة زاوية الشفة  $\beta$  صغيرة على محيط الريشة، وهذا يسبب انخفاض متانة الريشة وتناقص التصريف الحراري بشكل واضح.

بالاعتماد على ما ذكر أعلاه عند شحذ ريشة الثقب فإنه من الضروري توفير الزيادة اللازمة والمناسبة في قيمة زاوية الخلوص في كل نقطة من نقاط الحد القاطع، ومعنى ذلك شحذ الحد القاطع بزوايا خلوص متغيرة. في هذه الحالة تكون زاوية الخلوص عظمى عند محور الريشة، وصغرى عند المحيط. هذه الطريقة يمكن تأمين قيمة مثالية لزوايا الشفة  $\beta$  على طول الحد القاطع للريشة.

## ٩-١- عناصر نظام القطع والطبقة المنسزوعة في مختلف عمليات

### التشغيل بالقطع:

#### ٩-١-١- عناصر نظام القطع (بارامترات القطع):

العناصر الرئيسية لنظام القطع هي سرعة القطع (سرعة الحركة الرئيسية)، التغذية وعمق القطع.

#### - سرعة القطع (v)

هي عبارة عن سرعة حركة أي نقطة محددة من أداة القطع أو المشغولة باتجاه الحركة الرئيسية (حركة القطع). وتقاس بـ  $(m/min)$  أو  $(m/sec)$  وتعطى بالعلاقة:

$$v = \frac{\pi D \cdot N}{1000} \quad m/min \quad (1-16)$$

حيث:  $D$  - قطر العنصر المشغل (في الخراطة)، أو قطر أداة القطع في الثقب والتفريز  $(mm)$ .

$n$  - عدد دورات الجزء المحوري  $r.p.m$ .

في عملية الخراطة الطولية تكون سرعة القطع ثابتة، أما في الخراطة الواجهية والفصل فتكون السرعة متغيرة بسبب تغير  $D$ . وتكون أعظمية عند محيط المشغولة وتتناقص باتجاه المركز.

إن اختيار سرعة القطع المناسبة لعملية التشغيل تحدد بالعوامل التالية:

١- ثبات واستقرار عمر أداة القطع ودرجة تحملها الحراري.

٢- الخصائص الفيزيائية - الميكانيكية للمعدن المشغل.

٣- متانة الجزء الحامل (نصاب) لأداة القطع.

٤- مقدار التغذية وعمق القطع.

٥- الشكل الهندسي للجزء القاطع.

٦- استخدام سوائل التبريد في عملية القطع.

٧- التآكل المسموح به لأداة القطع.

٨- درجة الحرارة المتشكلة في منطقة القطع.

إن درجة ثبات واستقرار أدوات القطع المصنعة من صلب السرعات العالية ( $H.S.S$ ) تتناقص مع زيادة سرعة القطع، بينما أدوات القطع المصنعة من المواد الكربيدية هي أكثر ثباتاً وتحملًا لسرعات القطع العالية.

تستخدم سرعات قطع عالية في تشغيل المعادن والخلائط الملونة والخفيفة، فعلى سبيل المثال سرعة القطع المستخدمة لتشغيل الألمنيوم أكبر بـ 5-6 مرات من السرعة المستخدمة لتشغيل صلب الإنشاءات الكربوني.

إن زيادة عمق القطع والتغذية يؤدي إلى تآكل شديد لأداة القطع، وهذا يحد بدوره من سرعة القطع. من أجل تحقيق إنتاجية عالية للتشغيل، من النسب التشغيل بمقطع عرضي كبير للرأيش ( $f = ab = t.smm^2$ ) مع تقليل سرعة القطع.

#### ٤- التغذية (S):

هي مقدار انتقال الحد القاطع بالنسبة للسطح المشغل في اتجاه حركة التغذية، كما هو مبين في الشكل (١-٢٥)، في عمليات الخراطة والثقب تقاس التغذية بمقدار تقدم أداة القطع (باتجاه حركة التغذية) خلال دورة واحدة للمشغولة أو لريشة الثقب  $S (mm/r)$ ، حيث  $S_r = S/2$ . حيث  $S_r$  - هي مقدار التغذية لسن واحد مسن ريشة الثقب.

أما في عمليات التفريز يمكن أن نميز ثلاثة أنواع للتغذية

١- تغذية في دقيقة واحدة - هي عبارة عن مقدار انتقال طاولة الآلة في اتجاه

حركة التغذية مقدراً بالمليمترات خلال دقيقة واحدة يرمز بالرمز (S)

وتقاس بوحدة  $mm/min$ .

٢- تغذية خلال دورة واحدة للمقطع - وهي مقدار انتقال طاولة الآلة في اتجاه

حركة التغذية خلال دورة كاملة واحدة للمقطع، ويرمز لها  $S_0$ ، وتقاس

بوحدة  $mm/r$ .

٣- تغذية بالنسبة لسن واحدة للمقطع - وتمثل مقدار تحريك الطاولة في اتجاه حركة

التغذية مقدراً بالمليمترات خلال زمن دوران مقطع التفريز بمقدار المسافة بين

سٲن متجاوزين (خطوة المقطع) حيث يرمز لها بالرمز  $S_z$  وتقاس بوحدة  $mm/z$ .

وتستعمل هذه الأنواع الثلاثة للتغذية على نطاق واسع في عمليات التفريز، ويمكن تحديد الروابط بين هذه الأنواع الثلاثة بالمعادلات التالية :

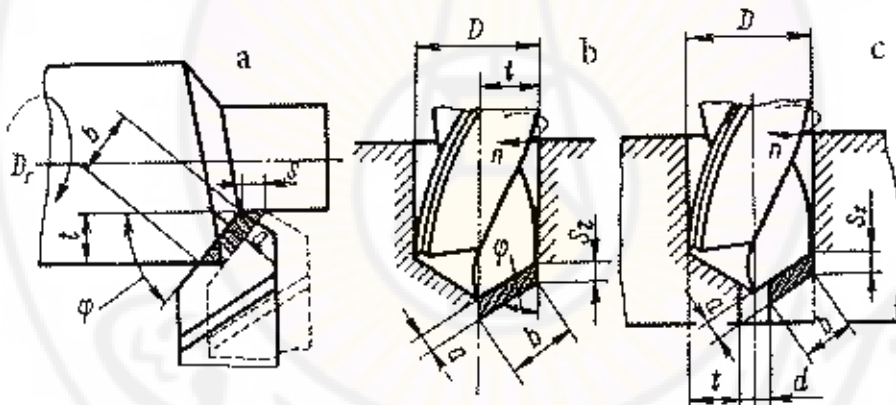
$$S_z = S_0 / Z \quad \text{،} \quad mm/Z \quad (1-17)$$

$$\Rightarrow S_0 = S_z / Z \quad \text{،} \quad mm/r$$

$$S = S_0 \times n = S_z \times Z \times n \quad \text{،} \quad mm/min \quad (1-18)$$

وكذلك:

$$S_z = \frac{S_0}{Z} = \frac{S}{n \times Z} \quad \text{،} \quad mm/Z \quad (1-19)$$



الشكل (٢٥-١)

عناصر نظام القطع والطبقة المقطوعة:

$a$  - في عمليات الخراطة ،  $b$  - الثقب ،  $c$  - توسيع الثقوب

عمق القطع  $(t)$  :

هو عبارة عن سماكة طبقة المعدن المزروعة خلال شوط واحد لأداة القطع، وتقاس في الاتجاه العمودي على السطح المشغل ( $mm$ ). في عمليات فصل المشغولات على المخروطة عمق القطع  $t$ ، يساوي عرض رأس قلم الفصل المستخدم. وفي عمليات الثقب في الجسم المصمت عمق القطع يساوي نصف قطر الثقب ( $t = D/2$ ) ، أما في عمليات توسيع الثقوب من قطر  $d$  إلى جديد  $D$  ، فإن عمق القطع يساوي (شكل ١-٢٥):

$$t = (D - d)/2$$

في عمليات التفريز يتحدد عمق القطع تبعاً لنوع عملية التفريز وتصميم مقطع التفريز نفسه، على الشكل (١-٢٦) مبين عمليات تفريز مختلفة (سطحية ، جانبية ، تشكيلية ، تفريز مجاري وغيرها) باستخدام مقطعات تفريز مختلفة الأشكال والتصاميم (أسطوانية ، قرصية ، جبهية ، تشكيلية وغيرها) ، ومبين لكل عملية عمق القطع  $t$  والذي يمكن تعريفه بأنه سماكة الطبقة المزروعة عن سطح المشغولة خلال مشوار واحد لمقطع التفريز وتقاس عمودياً على السطح المشغل.

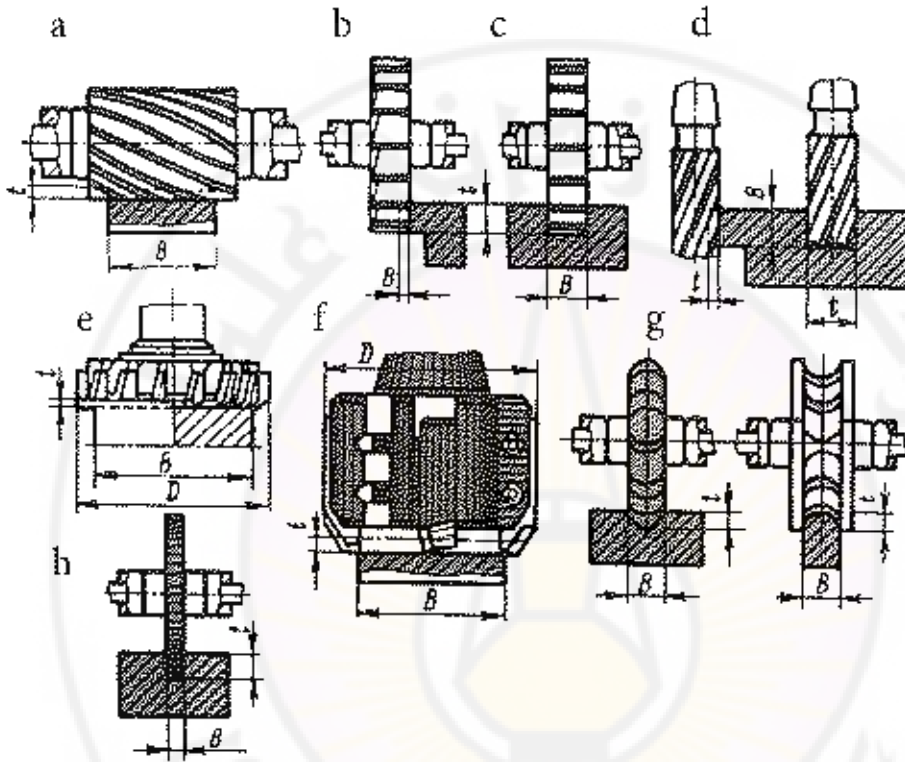
بالإضافة إلى عمق القطع  $t$  تتميز عمليات التفريز عن غيرها من عمليات التشغيل الأخرى (خرطة ، ثقب) بدراسة بارامتر عرض التفريز  $B$  ، وهو عبارة عن عرض السطح المشغل خلال شوط واحد لأداة القطع ويقاس باتجاه مواز لمحور سكين التفريز (شكل ١-٢٦) وبالمليمتر ( $mm$ ) .

#### ١-٩-٢ - عناصر الطبقة المقطوعة:

إن عناصر نظام القطع المذكورة سابقاً ( $v, t, s$ ) توصف القطع من الناحية التكنولوجية، من زاوية توضيح وحركة أداة القطع التي تؤمن عملية التشغيل. ولكن من أجل قيمة التغذية نفسها وعمق القطع يمكن أن يتغير عرض سماكة الطبقة المقطوعة (المقطع العرضي للرايش غير المزروع) وذلك تبعاً لشكل وهندسة أداة القطع



المستخدمة. وتبعاً لعرض وسماكة الطبقة المقطوعة، مقاومة المعدن للتشوه، كمية الحرارة الناتجة وعملية التصريف الحراري.



الشكل (٢٦-١)

عمق القطع وعرض التفريز من أجل مختلف مقاطع التفريز:

$a$  - أسطوانتي،  $b$  - قرصي،  $c$  - وجهي،  $g$  - تشكيلي،  $h$  - فصل

سماكة الطبقة المقطوعة ( $a$ ):

هي المسافة بين وضعيتين متتاليتين للحد القاطع الرئيسي خلال دورة واحدة للمشغولة (أو لأداة القطع) ، وتقاس في الاتجاه العمودي على سطح القطع وتقدر بالمليمتر (mm) (انظر الشكل ١-٢٥).

عرض الطبقة المقطوعة أو عرض القطع (b):

هو المسافة بين السطح المشغل والسطح الجاري تشغيله مقاسة على سطح القطع وتقدر بالمليمتر أيضاً.

إن سماكة وعرض الطبقة المقطوعة مثالان سماكة وعرض الرايش غير المقطوع ومثالان مساحة المقطع العرضي للطبقة المقطوعة  $F$ :

$$F = a.b \quad (mm^2)$$

من الشكل (١-٢٥) نجد أن:

$$a = S \cdot \sin \varphi \quad ; \quad b = t / \sin \varphi \quad (1-20)$$

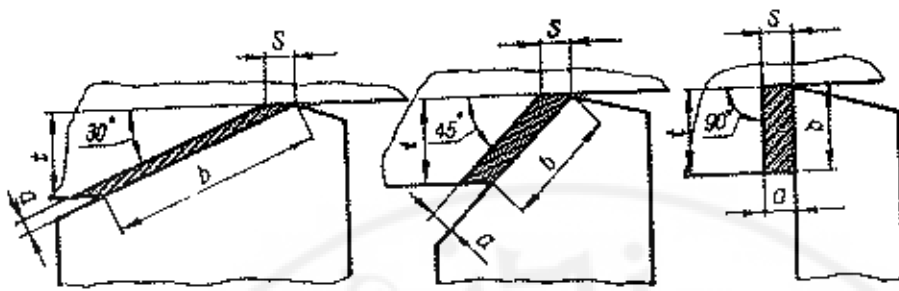
حيث  $\varphi$  - زاوية الاقتراب الرئيسية.

من الشكل (١-٢٧) والعلاقة (1-20) نلاحظ أنه من أجل قيمة ثابتة للتغذية  $S$  ولعمق القطع  $t$ ، يمكن أن تتغير مساحة المقطع العرضي للطبقة المقطوعة بتغير قيمة زاوية الاقتراب الرئيسية  $\varphi$ ، (بزيادة الزاوية  $\varphi$  تزداد سماكة الطبقة المقطوعة  $a$ ، بينما يتناقص عرضها  $b$ ).

### ١-٩-٣ - المقطع العرضي للطبقة المقطوعة في عمليات التفريز:

سوف ندرس شكل المقطع العرضي للطبقة المقطوعة في عمليات التفريز باستخدام مقطعات التفريز الأسطوانية ومقطعات التفريز الواحية (الجبهيّة) نظراً للاستخدام الواسع لهذه المقطعات في عمليات التفريز.

والحديث هنا عن شكل الرايش غير المشوّه ، أي الطبقة المخرّوجة من المشغولة قبل تشويهها.



الشكل (٢٧-١)

تغير شكل المقطع العرضي رايش تبعاً لتغير زاوية الاقتراب  $\phi$

#### ١- شكل الرايش غير المشوه باستخدام مقطع اسطواني:

كما هو مبين على الشكل (٢٨-١) فإن المقطع العرضي للرايش (غير المشوه) على شكل قطاع محدد بقوسين  $AB$ ، نصف قطر كل منهما يساوي نصف قطر مقطع التفريز  $(D/2)$ .

إن سمك الرايش  $a$  غير ثابت، ففي عملية التفريز الصاعد (شكل ٢٨-١-أ) تتغير سماكة الرايش من قيمة دنيا في النقطة  $A$  نظرياً تساوي الصفر لتصل إلى قيمة عظمى  $d_{max}$  لحظة خروج سن مقطع التفريز من المشغولة. وفي التفريز الهابط (شكل ٢٨-١-ب) تبدأ عملية القطع بسماكة عظمى  $a_{max}$  للرايش في النقطة  $B$ ، وتنتهي بقيمة صغرى في النقطة  $A$ ، مع العلم أن للرايش في عمليتي التفريز الصاعد أو الهابط شكل المقطع العرضي نفسه المبين على الشكل (٢٨-١-ج). تسمى الزاوية المركزية المحصورة بين نصفي القطر المرسومين من مركز مقطع التفريز إلى نقطتي دخول وخروج مقطع التفريز بزاوية تلامس السن حيث يرمز لها بالرمز  $\psi$  وتعتمد قيم هذه الزاوية على قطر مقطع التفريز  $D$  وعمق القطع  $t$  ويمكن تحديدها بالعلاقة:

$$\cos \psi = \frac{\frac{D}{2} - t}{\frac{D}{2}} = \frac{D - 2t}{D} \quad , \quad (1-21)$$

إذا تم إهمال الانكماش الطولي الحاصل للرايش والزيادة في سماكته عن سماكة الطبقة المتروعة، أي نفرض أن سماكة الرايش تساوي سماكة الطبقة المتروعة ، فإنه يمكن تحديد السماكة العظمى للرايش  $a_{\max}$  على طول نصف القطر  $OC$  (شكل ١-٢٨-٢) ، من المثلث  $BB_1C$  ، حيث  $a_{\max} = B_1C$  ويساوي:

$$a_{\max} = S_1 \cdot \sin \psi \quad , \quad (mm) \quad (1-22)$$

$$= S_1 \times 2\sqrt{1/D - t^2/D^2} \quad (1-23)$$

حيث  $S_1$  - التغذية من أجل سن واحدة للمقطع وتساوي المسافة  $BB_1$  .

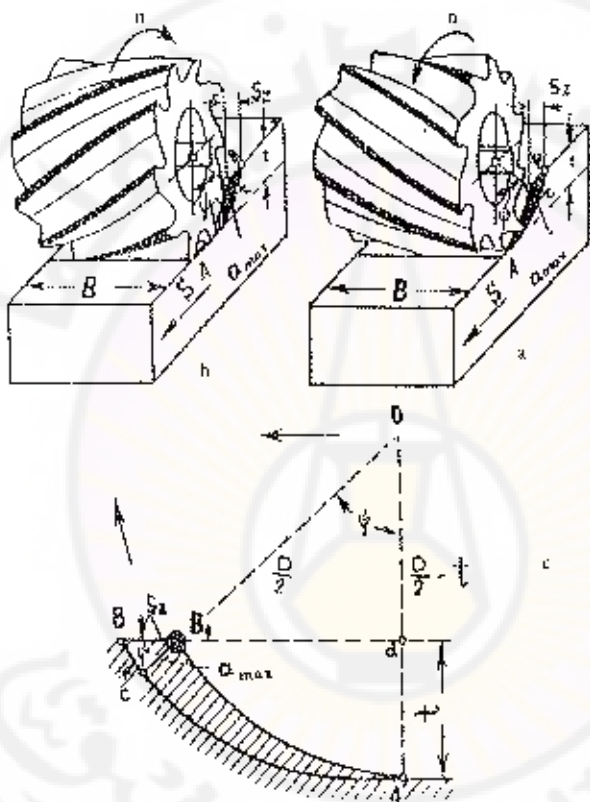
## ٢- شكل الرايش غير المشوه باستخدام مقطع تفريز واجهي:

يبين الشكل (١-٢٩) شكل الرايش الناتج عند التفريز باستخدام مقطع تفريز واجهي (محوره عمودي على السطح المشغل) ، وذلك في حالي التفريز المتماثل والتفريز غير المتماثل.

يعد التفريز متماثلاً عندما يكون محور مقطع التفريز متوضعاً بشكل متناظر (متماثل) بالنسبة لخط المنتصف في السطح المشغل من المشغولة (شكل ١-٢٩-٢) ويعد التفريز غير متماثل عندما يكون محور مقطع التفريز متوضعاً بشكل غير متماثل (غير متناظر) بالنسبة لخط المنتصف في السطح (شكل ١-٢٩-٢) ، أي أن محور المقطع لا ينطبق مع خط منتصف السطح المشغل.

بالنسبة للتفريز الواجهي المتماثل يمكن أن نميز حالتين:

١. عندما يكون عرض التفريز مساوياً قطر المقطع ( $B = D$ )، في هذه الحالة فإن زاوية تلامس السن  $\psi = 180^\circ$ . وتُثل هذه الحالة تفريز مجاري على سطح المشغولة.



الشكل (٢٨-١)

المقطع العرضي للرأيش (غير المشوه) عند التفريز. بمقطع تفريز أسطواني :  
 a - عند التفريز الصاعد ، b - عند التفريز الهابط ، c - شكل مقطع الرأيش

٢. عندما يكون  $B < D$  في هذه الحالة فإن زاوية تلامس السن  $\psi$  تحدد بالعلاقة

التالية:

$$\sin \frac{\psi}{2} = \frac{B/2}{D/2} = \frac{B}{D} \quad (1-24)$$

إن زاوية تلامس سن مقطع التفريز  $\psi$  في عمليات التفريز الواحهي عموماً هي الواقعة بين نصفي القطر الواصلين من مركز مقطع التفريز إلى نقطتي دخول وخروج السن من المعدن (النقطتين 2,1 في الشكل ١-٢٩-أ)، بالنظر إلى الشكل (١-٢٩-ب) وعطط الرايش المقطوع في حالة التفريز غير المتماثل، وبفرض أن النقطة  $x$  تمثل رأس السن في لحظة آنية محددة من دورة التشغيل، وتوافق زاوية تلامس آنية للسن تساوي  $\psi_r$ ، نجد أن القطاع  $(X - X')$  يمثل عددياً التغذية على السن  $S_z$  والمسافة  $(X - X'')$  تساوي سماكة الرايش  $a_z$  في هذه اللحظة الآنية. يمكن النظر إلى الجزء  $(X' - X'')$  من مسار رأس السن على أنه قطعة مستقيمة. في هذه الحالة القطاع  $X - X' - X''$  يمثل مثلاً قائم الزاوية في  $X''$ ، والزاوية  $\psi_r = 2X'$ ، وبذلك نجد السماكة اللحظية  $a_z$  للرايش في أي لحظة من العلاقة:

$$a_z = S_z \cdot \sin \psi_r$$

وهذه القيمة لسماكة الرايش تتغير ما بين الصفر و  $a_{\max}$  في لحظة دخول السسن في المعدن (النقطة 1) فإن الزاوية  $\psi_r = 0$  في بداية دورة التشغيل و  $r_r = 0$  وكذلك  $a_z = 0$ .

وعند خروج السن من المشغولة في النقطة 2 يكسون في هذه اللحظة  $\psi_r = \psi$ ، وسماكة الرايش تصل لقيمتها العظمى أي أن:

$$a_{\max} = a_{z_{\max}} = S_z \cdot \sin \psi \quad (1-25)$$

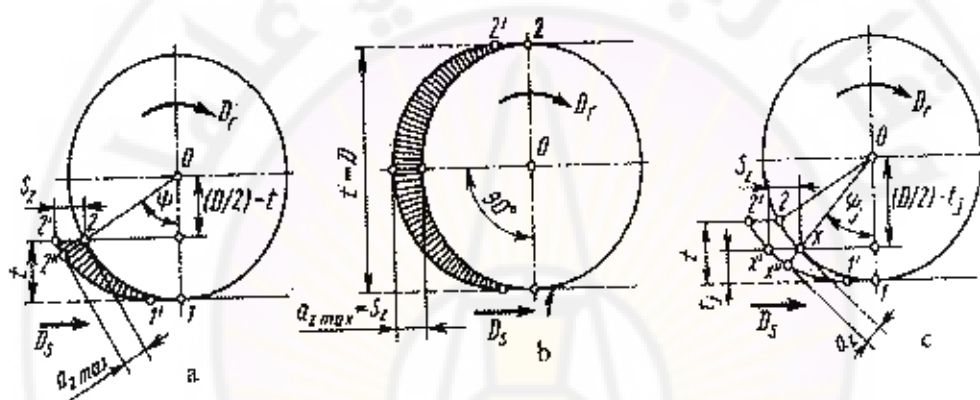
في عملية التفريز المتماثل (شكل ١-٢٩-ب) عندما  $B = D$ ، فإن زاوية تلامس السن مع المشغولة  $\psi = 180^\circ$ . يدخل السن في المعدن في النقطة 1 ويزايد سمك السرايش

تدريجياً ليصل إلى قيمة عظمى من أجل  $\psi_r = 90^\circ$ ، ثم يتناقص تدريجياً ليصل إلى الصفر في النقطة 2 لحظة خروج السن من المشغولة. من العلاقة (٩-١٤) نجد أن القيمة العظمى لسماكة الرايش تساوي:

$$a_{\max} = S_z \cdot \sin 90^\circ = S_z \quad (1-26)$$

العلاقة (1-26) صحيحة أيضاً من أجل التفريز المتماثل غير الكامل أي عندما

$$B < D$$



الشكل ١-٢٩

شكل الرايش غير المشوه في عمليات التفريز بمقطع تفريز واجهتي:

- a في حالة التفريز غير المتماثل ، - b في تفريز المتماثل

### ٣- المساحة الاسمية لمقطع الرايش غير المشوه:

المساحة الاسمية لمقطع غير المقطوع بسن واحدة من مقطع التفريز تساوي حاصل جداء

عرض التفريز B بسماكة الرايش a .

$$f = a \times B \quad \text{mm} \quad (1-27)$$

وكما بينا سابقاً فإن سماكة الرايش في عملية التفريز باستخدام مقطع التفريز الأسطواني تتغير من الصفر حتى قيمة عظمى  $a_{max}$ ، وبالتالي مساحة المقطع العرضي للرايش أيضاً هي قيمة غير ثابتة وتتغير من الصفر حتى  $f_{max}$ ، حيث:

$$f_{max} = a_{max} B = S_z \cdot B \cdot \sin \psi \quad , \quad mm^2 \quad (1-28)$$

$$f_{max} = 2S_z \cdot B \sqrt{t/D - t^2/D^2} \quad , \quad mm^2 \quad (1-29)$$

حيث  $a_{max}$  - السماكة العظمى لمقطع الرايش حسب العلاقات (1-22) و (1-23). العلاقة (1-28) و (1-29) تحدد المساحة العظمى لمقطع الرايش، أما المساحة المتوسطة  $f_m$  في حالة التفريز السطحي فهي تساوي النصف تقريباً، أي أن:

$$f_m = \frac{B}{2} \cdot a_{max} = \frac{S_z \cdot B}{2} \cdot \sin \psi \quad , \quad mm^2 \quad (1-30)$$

أو:

$$f_m = S_z \cdot B \sqrt{t/D - t^2/D^2} \quad , \quad mm^2 \quad (1-31)$$

العلاقات السابقة تستخدم لحساب المساحة العظمى والمتوسطة لمقطع الرايش المتروك بسن واحدة فقط من مقطع التفريز. ولكن كما هو معلوم فإن عملية التفريز فعلياً تتم باشتراك عدد من الأسنان في عملية القطع بأن واحد.

تعطى المساحة المتوسطة لمقطع الرايش المتروك في عملية التفريز وبمشاركة عدة أسنان بالعلاقة:

$$f_{mz} = \frac{B \cdot t \cdot S_z \cdot Z}{\pi D} \quad , \quad mm^2 \quad (1-32)$$

ويمكن أيضاً بالطريقة نفسها حساب مساحة مقطع الرايش غير المشوه في عمليات التفريز الواجهي، حيث يلاحظ أكبر قيمة لمساحة مقطع الرايش في حالة التفريز الواجهي المتماثل حيث يكون  $B = D$  (شكل ١-٢٩-ب).



# ١-٩-٤ - الزمن الأساسي (التكنولوجي):

هو زمن شوط العمل في عملية التشغيل ، أي زمن حركة أداة القطع بالنسبة للمشغولة وفق تغذية محددة. ويمكن تعريف الزمن الأساسي أيضاً بأنه الزمن الذي يتم خلاله نزع الرايش عن سطح المشغولة ، أي يتغير خلاله شكل وأبعاد العنصر المشغل. هذا مع العلم أنه في بعض عمليات التشغيل لا تتم عملية نزع الرايش (مثل عمليات التقسية أو التمتين وغيرها) ، وإنما تتغير خلال ذلك الخواص الفيزيائية - الميكانيكية للطبقة السطحية.

إذا كانت عملية التشغيل مؤتمنة وتتم دون تدخل العامل فإن الزمن الأساسي يسمى بالزمن الآلي **Machine time** بحسب الزمن الأساسي للتشغيل بالعلاقة التالية:

$$T_0 = \frac{L}{S_m} \times i = \frac{L}{n.S} \times i \quad ; \quad (\text{min}) \quad (1-33)$$

حيث  $L$  - الطول الحسابي لحركة أداة القطع باتجاه التغذية (طول الشوط العامل)  $mm$  ، ويساوي:

$$L = l_0 + l_1 + l_2$$

حيث  $l_0$  - طول السطح المشغل ،  $mm$  ؛

$l_1$  - مسافة اقتراب أو تدخل أداة القطع مع المشغولة حتى الوصول إلى كامل عمق القطع، (أنظر الشكل ١-٣٠) ؛

$l_2$  - المسافة اللازمة لخروج أداة القطع من العنصر المشغل.

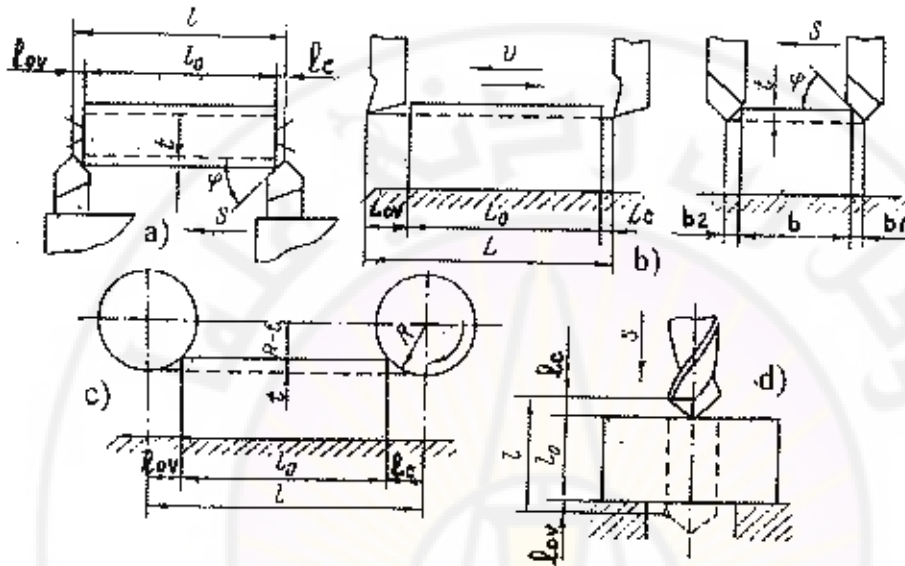
$S_m$  - مقدار التغذية بالدقيقة  $(mm/min)$  ؛

$S$  - مقدار التغذية  $(mm/r)$  ؛

$n$  - عدد دورات الجزء المحوري  $r.p.m$

$i$  - عدد أشواط أداة القطع العملية المدروسة.

والشكل (١-٣٠) يبين مخططات لتحديد الطول الحسابي  $L$  لمختلف عمليات التشغيل.



الشكل (٣٠-١)

تحديد الطول الحسابي  $L$  في عمليات التشغيل:

$a$  - خراطة ،  $b$  - قشط ،  $c$  - تفريز ،  $d$  - ثقب

إن طول مسافة دخول أداة القطع في المشغولة ( $l_1$ ) تعتمد على الشكل الهندسي والمواصفات التصميمية لأداة القطع:

- في عمليات الخراطة:

$$l_1 = r \cdot \tan^{-1} \varphi + (0,5 \dots 2) \quad ; \text{ mm}$$

- في عمليات الثقب:

$$l_1 = D/2 \cdot \tan \varphi + (0,5 \dots 2) \quad ; \quad mm$$

- في التفريز الأسطواني:

$$l_1 = [r(D-r)]^{1/2} + (0,5 \dots 2) \quad ; \quad mm$$

- وللتفريز الجبهي المتماثل:

$$l_1 = 0,5[D - (D^2 - B^2)^{1/2}] + (0,5 \dots 2) \quad ; \quad mm$$

تؤخذ المسافة الإضافية (0,5.....2) في العلاقات السابقة من أجل تأمين الاقتراب الحر والهادئ لأداة القطع من العنصر المشغل.

مسافة خروج أداة القطع  $l_2$  تتحدد تبعاً لأبعاد التشغيل وهي محدود  $l_2 = 1000005mm$ .

توجد في المراجع الخاصة علاقات لتحديد قيم الزمن الأساسي  $T_0$  لمختلف عمليات التشغيل الميكانيكي بالقطع.

- من أجل عمليات القشط تحسب  $T_0$  بالعلاقة:

$$T_0 = \frac{(b_0 + b_1 + b_2) \times i}{n \cdot S} \quad (min) \quad (1-34)$$

حيث  $b_0$  - عرض السطح المشغل،  $mm$ ،  $b_1$  و  $b_2$  - مسافتا دخول وخروج أداة القطع؛

$n$  - عدد الأشواط المزروجة لأداة القطع في الدقيقة؛

$S$  - مقدار تغذية القلم المقاطع خلال الشوط المزروج الواحد  $mm$ .

- ومن أجل عمليات التفريز:

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{S_m} \quad ; \quad (min) \quad (1-35)$$

حيث:  $S_m$  - مقدار التغذية بالدقيقة،  $(mm/min)$ ؛  $(S_m = S_z \cdot Z \cdot n)$

باعتبار:  $L = l_0 + l_1 + l_2$

وبذلك تصبح العلاقة (1-35) :

$$T_0 = \frac{(l_0 + l_1 + l_2).i}{S_z.Z.n} \quad , \quad (1-36)$$

٥- ومن أجل تشغيل الثقب يحدد الزمن الأساسي بالعلاقة:

$$T_0 = \frac{(l_0 + l_1 + l_2).i}{n.S} \quad , \quad (\text{min}) \quad (1-37)$$



## الفصل الثاني مواد أدوات القطع

- ٢-١- صفات مواد أدوات القطع
- ٢-٢- مواد أدوات القطع
- ٢-٣- المواد المناسبة
- ٢-٤- المواد السيراميكية ذات الاستخدام العددي



## ٢-١- صفات مواد أدوات القطع:

حتى تتم عملية القطع لا بد من توافر الصفات التالية في أدوات القطع:

### ١- القساوة:

يجب أن تكون قساوة أداة القطع أعلى من قساوة المشغولة لتستطيع اختراقها أو خدشها، وأن تحتفظ بهذه القساوة المرتفعة في ظروف القطع المختلفة (ارتفاع درجة الحرارة وقوى القطع).

### ٢- المتانة:

يجب أن تكون أداة القطع ذات متانة عالية، والمقصود بمتانة أداة القطع (مقاومة الكسر أو القصف بالصدم) وهذه الصفة هامة عند عمليات القطع التي تحدث فيها الصدمات (القصط، التفريز، تشغيل القطع المصبوبة ذات القطع غير المنتظمة). من المعروف أن ارتفاع المتانة يتم على حساب انخفاض في القساوة، لذلك يجب التوفيق بين هاتين الصفتين، بما يتناسب مع العملية التكنولوجية المطلوبة.

### ٣- مقاومة الضغط والاهتراء:

وهي قدرة أداة القطع على مقاومة التشكيل أو التشويه في الشكل، أو تآكل الحد القاطع في ظروف مختلفة من القوى ودرجة حرارة القطع.

### ٤- مقاومة فعل درجات الحرارة المرتفعة:

وهي تتعلق بمقاومة أداة القطع لتأثير الارتفاع المفاجئ لدرجة حرارة القطع في البنية الذرية وخصائص هذه الأداة.

### ٥- رخص ثمنها:

يجب أن تكون تكاليف أداة القطع اقتصادية لأن هذا الأمر ينعكس على التكلفة العامة للعملية التكنولوجية، وبالتالي على المردود الاقتصادي للتشغيل.

## ٢-٢- مواد أدوات القطع:

من اليديهي أنه لا يمكن جمع هذه الصفات في مادة واحدة، ولذلك تتعدد مواد أدوات القطع، وتدرج في أهميتها حسب ظروف القطع والمواصفات التي يجب أن تتمتع بها هذه الأداة مع الظروف المتغيرة للقطع ومع طبيعة العملية التكنولوجية، وعلى هذا الأساس تستخدم عدة أنواع من أدوات القطع وأكثرها انتشاراً:

١- الفولاذ الكربوني (نسبة الكربون عالية فيه).

٢- الفولاذ السبائكي (خليط من الفولاذ وبعض المعادن).

٣- فولاذ السرعات العالية.

٤- السبائك القاسية المسبوكة.

٥- السبائك القاسية الملبدة.

٦- المواد الخزفية.

٧- الأطراف الماسية.

## ٢-٢-١- الفولاذ الكربوني:

يطلق عليه أيضاً فولاذ العدة وأحياناً فولاذ الماء، وهو فولاذ يحتوي على نسبة تتراوح بين (0.6% - 1.4%) من الكربون، ولا توجد فيه عناصر سبائكية إضافية إلا في نسب ضئيلة كالسيلكون والمنغنيز، ويدخل أيضاً في تركيبه الكبريت والفوسفور في صور شوائب غير مرغوب فيها.

إن زيادة نسبة الكربون تؤدي إلى زيادة القساوة على حساب المتانة، لذلك تستخدم الأنواع التي تقل فيها نسبة الكربون عن (1%) في عمليات القطع التي تتعرض للصدم كالعدد اليدوية وأقلام المقاشط، بينما تستخدم الأنواع التي تزيد نسبة الكربون فيها عن (1%) في عمليات القطع التي تتطلب مقاومة عالية للاهتراء.



تجري عمليات التنقية لأدوات القطع المصنوعة من الفولاذ الكربوني وذلك بتسخين الأداة إلى درجة حرارة مرتفعة تتراوح في المجال  $(750^{\circ} - 900^{\circ})$ ، وذلك حسب نسبة الكربون (نصف ساعة لكل  $25mm$  من سمك أداة القطع) ثم تبريد بشكل مفاجئ ويكون هذا التبريد عادةً بواسطة الماء، ولذلك سميت هذه الأنواع من مواد أدوات القطع بفولاذ الماء، بعد إجراء عملية التنقية هذه تكتسب أداة القطع قساوة عالية ولكن في الوقت نفسه تتكون بعض الإجهادات الحرارية نتيجة التبريد المفاجئ مما يضطرنا إلى إجراء عملية مراجعة، وذلك للتخلص من هذه الإجهادات، وتتراوح درجة حرارة الإرجاع في المجال  $(200^{\circ} - 350^{\circ})$ ، ويعاد تبريدها بالماء أو بالزيت، في هذه الأثناء يكتسب الفولاذ الكربوني بعد عملية المراجعة هذه متانة عالية دون أية تضحية إلا بجزء صغير من القساوة.

تستخدم هذه الأنواع من الفولاذ أساساً في عمليات القطع بالعدد اليدوية نظراً لانخفاض سرعات القطع بها (المبارد والمقصات)، ونادراً ما تستخدم في أدوات القطع على آلات التشغيل إلا عند قطع المواد والمعادن سهلة القطع، وبسرعات قطع منخفضة إذ لا يجوز أن ترتفع سرعة القطع عن الحد الذي يسمح بارتفاع درجة حرارة القطع عن  $(300^{\circ})$  فعند هذه الدرجة يبدأ الفولاذ الكربوني بفقدان الخواص التي يتمتع بها وبخاصة القساوة، مما يؤدي في نهاية الأمر إلى اهتراء الحد القاطع وعجزه عن القيام بعمله.

## ٢-٢-٢ - الفولاذ السبائكي:

وهذا النوع من الفولاذ شبيه بالفولاذ سابق الذكر مضافاً إليه عناصر أخرى مثل (التنجستن، الكروم، الكوبالت، الفاناديوم) منفردة أو مجتمعة، وتقسى ثم تراجع بالطريقة السابقة نفسها، وتستخدم هذه الأنواع بخاصة في عمليات القطع التي ترتفع

فيها إجهادات القطع نسبياً (باستخدام عمق قطع وتغذية كبيرة)، ولا يجوز كما في الفولاذ الكربوني أن ترتفع درجة حرارة القطع عن  $(300^\circ)$ .

### ٢-٢-٣ فولاذ السرعات العالية:

يطلق عليه هذا الاسم لاستخدامه في عمليات القطع بسرعات عالية تسمح بارتفاع درجة حرارة القطع حتى  $(600^\circ)$ ، يتكون من الفولاذ مضافاً إليه المواد التالية:

١- التنغستن، لتحسين خواص القساوة المتبقية عند درجات الحرارة المرتفعة مع الاحتفاظ بالمتانة.

٢- الفاناديوم، لرفع مقدار القساوة عند درجات الحرارة المرتفعة ورفع درجة حرارة عملية المراجعة بعد التقسية.

٣- الكروم، يزيد من قساوة أداة القطع وبالتالي قدرة تغلغلها في المعدن المشغل.

٤- الكوبالت، يزيد من مقاومة أداة القطع للاهتراء حتى درجة حرارة المراجعة.

تم عملية التقسية بالنسبة لفولاذ السرعات العالية H.S.S على مرحلتين:

#### المرحلة الأولى:

يتم رفع درجة حرارته ببطء حتى  $(750 - 800^\circ)$  لتجنب تجمع الإجهادات الحرارية وحتى تتوزع الحرارة داخل المعدن بانتظام.

#### المرحلة الثانية:

يتم رفع درجة حرارة الأداة مباشرة من  $(800^\circ)$  حتى  $(1300^\circ)$  وبسرعة، وذلك لتجنب التأكسد الذي من الممكن أن يحدث في هذا المجال.

ثم يتم تبريد الأداة فيما بعد باستخدام تيار من الهواء المضغوط (لذلك يطلق على هذه الأنواع من الفولاذ بالعامية بفولاذ الهواء).

تجري عملية المراجعة بإعادة التسخين إلى ما بين  $(500^{\circ} - 600^{\circ})$  ثم التبريد بالهواء المضغوط.

ويبين الجدول (٢-١) التركيب الكيميائي لبعض أنواع فولاذ السرعات العالية (النسبة المئوية):

| كربون (%) | كرومات (%) | كروم (%) | مولبيديوم (%) | فاناديوم (%) | تنغستن (%) |
|-----------|------------|----------|---------------|--------------|------------|
| 0.92-1.02 | —          | 3.8-4.5  | 2.5-2.8       | 2.2-2.5      | 2.5-3      |
| 0.75-0.83 | 4.5-5      | 0.5-0.8  | 0.5-0.8       | 1.4-1.7      | 17.5-18.5  |
| 0.7-0.8   | 12-15      | 4        | 0.7-1         | 2            | 19-21      |

الجدول (٢-١) التركيب الكيميائي المتوي لبعض أنواع فولاذ السرعات العالية

يكثر استخدام هذه الأنواع من الفولاذ في أدوات القطع التي تتعرض لسرعات قطع ودرجات حرارة عالية مثل مقاطع التفريز، الدراغل، لقم قطع اللوالب، أقلام الخراطة، أقلام المقاشط.

إن الأنواع عالية الإنتاجية من الفولاذ سريع القطع تمتاز بمتانة وقساوة حمراء (القساوة الحمراء هي الدرجة التي تفقد عندها أداة القطع خواص القطع) كما أنها ذات مقاومة عالية للتآكل، وينصح باستخدامها عند تشغيل الفولاذ السبائكي صعب التشغيل وأنواع الفولاذ والسبائك ذات المتانة العالية والمضادة للصدأ والمقاومة للحرارة.

يمكن أن تصنع أداة القطع كلها من فولاذ السرعات العالية إذا كانت صغيرة الحجم أو أن يصنع جسمها من الفولاذ الكربوني، ثم تلقم بها لقم صغيرة من فولاذ السرعات العالية تشكل الحد القاطع لأداة القطع، ويستخدم عادةً لحام المونة أو لحام المقاومة الكهربية لهذا الغرض، وأحياناً يمكن الاستغناء عن اللحام بالثبيت الميكانيكي للحد

القاطع المصنوع من فولاذ السرعات العالية في جسم أداة القطع المصنوع من الفولاذ الكربوني.

لقد تم ابتكار بعض الأساليب لتحسين خواص القطع لهذه الأنواع من أدوات القطع وذلك بمعالجتها بمعالجة سطحية، أي إكساب الطبقة السطحية قساوة أعلى من تلك التي يتصف بها فولاذ السرعات العالية، ومن هذه الطرق:

- ١- معالجة سطح أداة القطع بطبقة من الكروم القاسي.
- ٢- معالجة حرارية بالتسخين في جو من النشادر، وذلك لتكوين طبقة تيريدية قاسية على السطح.
- ٣- التتروكربنة، أي زيادة نسبة الكربون والتيريد على السطح، وذلك بالتسخين في سيانيد البوتاسيوم أو الصوديوم.
- ٤- إكساب السطح طبقة من الفوسفيد (معالجة بالفوسفور).
- ٥- المعالجة بكبريتيد الموليبدوم القاسي.

## ٢-٢-٤- السبائك القاسية المسبوكة:

تنقسم هذه الأنواع من السبائك إلى نوعين رئيسيين:

النوع الأول: سبائك تحتوي على الحديد بنسبة قليلة مع عناصر أخرى غير حديدية، ومثال ذلك سبائك حديدية تحتوي على 3% كربون، 17% تنغستن، 25% كروم، 35% كوبالت والباقي حديد.

النوع الثاني: سبائك لا تحتوي على الحديد إطلاقاً، تسمى سبائك غير حديدية، ومثال ذلك سبائك غير حديدية تحتوي على 3% كربون، 20% تنغستن، 30% كروم، 45% كوبالت، والباقي عناصر أخرى مثل الموليبدوم والتيتانيوم وغيرها.

في كل هذه الأنواع من السبائك يلاحظ ارتفاع نسبة الكربون عن النسب المعتادة في الفولاذ بكل أنواعه إلا أن مكونات هذه السبائك من الكروم والتنجستن والكوبالست تكون كريدات قاسية تكسب السبيكة قساوة طبيعية دون أية حاجة لمعالجتها حرارياً، إن هذه السبائك تحتفظ بصلادتها إلى درجة حرارة تزيد عن  $(900^{\circ})$ ، وبالتالي يمكن استخدامها بسرعات قطع أعلى، ونظراً لصلادتها المرتفعة فإنه يصعب تشغيلها إلا بالتجليخ بعد سكبها في قوالب خزفية حسب الشكل المطلوب. تصنع هذه السبائك عادةً على شكل لقم تمثل الحد القاطع، ويتم لحامها أو ربطها بشكل ميكانيكي مع جسم أداة القطع.

### ٢-٣- المواد الماسية:

يعد الألماس أقدس المواد المعروفة حتى الآن، وهو يتكون أساساً من بلورات الكربون النقية.

على الرغم من ارتفاع قساوة الألماس عن أي مادة أخرى إلا أنه لا يستخدم في تشغيل حديد الزهر أو الفولاذ، وذلك نظراً لارتفاع قوى القطع والإجهادات الحرارية عند التشغيل والتي تكون مقاومته لها منخفضة.

يستخدم الألماس بنجاح في تشغيل المعادن الخفيفة والمعادن غير الحديدية صعبة التشغيل والمواد غير الفلزية والتي يصعب قطعها بالمواد الأخرى.

تتصف الأدوات المصنوعة من الألماس بصلادتها وهشاشتها، وبالتالي ارتفاع حساسيتها للكسر.

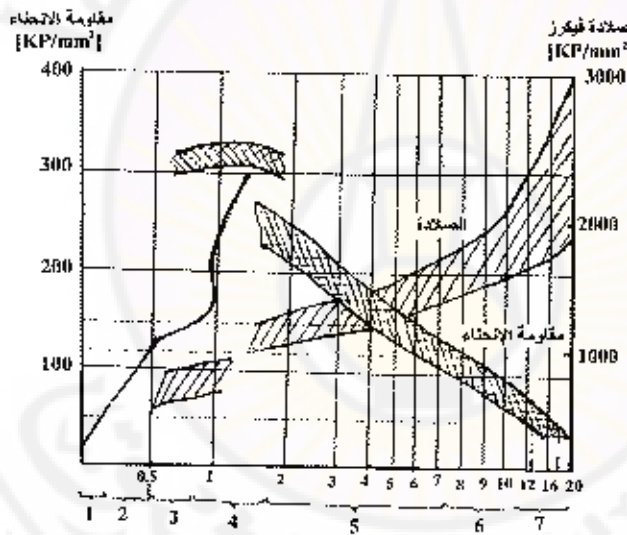
ويمكن حصر الفرق بين الأطراف الماسية واللقم الكريدينية بالتالي:

- ١- عمر الأطراف الماسية يفوق الكريدينية بنحو ٤٠ إلى ٥٠ ضعفاً.
- ٢- تكاليفها باهظة والحصول عليها صعب.

٣- تتطلب الحدود الكريبدية إعادة شحذها نحو عشرة أضعاف إعادة شحذ الألماس.

٤- يمكن استخدام الألماس في سرعات القطع العالية التي ينتج عنها حرارة تصل حتى  $(1600^{\circ}\text{C} - 1800^{\circ}\text{C})$ .

تثبت الأطراف الماسية عادةً بوساطة لحام المونة أو بالسبك حولها في فجوة بطرف أداة القطع. يوضح الشكل (١-٢) العلاقة بين مواد أدوات القطع من ناحية خواصها الميكانيكية ومجال سرعات القطع النسبية فيها. يلاحظ من المخطط القساسة المرتفعة التي يتمتع بها الألماس مقارنةً بمواد أدوات القطع الأخرى.



الشكل (١-٢)

مقارنة الخواص الميكانيكية لماد أدوات القطع

- ١- فولاذ كربوني، ٢- فولاذ سبائكي، ٣- فولاذ السرعات العالية، ٤- سبائك قاسية مسبوكة، ٥- سبائك قاسية ملبدة، ٦- المواد الخزفية، ٧- الأطراف الماسية.

## ٢-٤ - المواد السيراميكية ذات الاستخدام العددي:

يستخدم السيراميك المعدني للخرطة النصف نهائية والنهائية للمشغولات من الحديد الصب الرمادي والمطروق وعالي المتانة والمصلد، ومن الفولاذ المقسى والمحسن ومن بعض المعادن الملونة والخلائط وغيرها، وذلك عند سرعات قطع عالية (800 m/min ÷ 600) وبدون استخدام سائل تبريد، ويستخدم أيضاً في قوالب سحب الأسلاك من المعادن الملونة وكذلك لتحضير قطع الآلات المقاومة للاهتراء التي تتعرض أثناء عملها لاهتراء وحك بدون صدم.

ويتكون السيراميك المعدني الأبيض من أكسيد الألمنيوم النقي أو من  $Al_2O_3$  (97÷99.5 %) والباقي  $Cr_2O_3$  أو  $Fe_2O_3$  أو  $SiO_2$  أو  $MgO$ . وتحضر أداة القطع إما بالكبس على البارد وتليد أو بالكبس على الساخن. أما السيراميك المعدني على أساس  $Al_2O_3$  مع إضافة 20÷40 %  $TiC$  (الأسود) فيحضر بالكبس الستاتيكي على الساخن. أيضاً ينتج في الصناعة بطريقة الكبس على الساخن السيراميك الأكسيدي الكريدي على أساس  $Al_2O_3$  مع إضافة 20÷40 %  $Mo_2C$  أو  $Mo_2C-WC$  الذي يبدى متانة عالية ( $\sigma_B=450-700$  Pa) وقساوة 92-94 HRA وكثافة ( $4.2-4.6$  g/cm<sup>3</sup>). وتبدى أداة القطع المثبت عليها ميكانيكياً صفيحة غسيرة قابلة للخلخ من هذا النوع من السيراميك، خواص استثمارية عالية تسمح بزيادة الإنتاجية، وترفع جودة تشغيل المشغولات، وتخفض تكلفة العملية نتيجة الزيادة في سرعة القطع ثلاث مرات وبالوقت نفسه زيادة عمر أداة القطع خمس مرات مقارنة مع الخلائط الأخرى المستخدمة في التشغيل النهائي للمشغولات.

ينسب إلى مجموعة السيراميك المعدني مادة عديدة جديدة التي أساس تركيبها من نتريد السيليكون - السيلانيت (silent) ( $Si_3N_4$ ) وتحتوي على أكسيد منغنسيوم أو أكسيد

الألمنيوم بكميات قليلة مع كربيد التيتانيوم أو نتريد التيتانيوم. يمتلك السيلانيت قساوة (93 HRA) ومثانة على الانحناء (700 MPa).

إن التطور التقني في معدات الضغط العالي أدى إلى ظهور مجموعة جديدة من المواد السيراميكية العددية، وهي مواد عالية القساوة. وينسب إلى هذه المجموعة الألماس الصناعي، و نتريد البورون (ذو الهيكل الشبكي المكعب نوع أسفالريت أو ذو الهيكل الشبكي السداسي نوع فيورستيت) عند تأثير ضغط عالٍ ودرجة حرارة مرتفعة إما في ظروف إستاتيكية مع استخدام مخفضات أو في ظروف ديناميكية مع استخدام تفجير. وبوجود مخطط التوازن (P-T) المبين في الشكل رقم ٢-٢ يمكن أن نحصل على الألماس و (BN) فقط عند درجات حرارة مرتفعة وضغط عالٍ في حالة استقرار نسبي في الظروف العادية حيث أن سرعة التحول العكسي في التغير المستقر بطيئة جداً. يستخدم عند تخليق الألماس كمحفز خلاط معدنية من عائلة الحديد (على سبيل المثال (Ni-Cr ، Ni-Mn) ولنتريد البورون يستخدم المنغنسيوم . تنحصر آلية تأثير المحفزات في إمكانية تشكيل اتحاد بيني مع الكربون والبورون والأزوت، وكذلك في إعادة بناء الهيكل البلوري من صفائحي (غرافيت) إلى مكعبي (ألماس)، ويحدث بشدة أكبر عند عملية إعادة التبلور (انحلالية الألماس في المعادن الحديدية أقل منها من انحلالية الغرافيت). يتبلور نتريد البورون الإسفالريتي من مصهور يوتكتيكي (MgB<sub>2</sub> 18% ÷ 16 و Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub> 36% ÷ 34 و BN 50% ÷ 46) ، وتحدد درجة حرارة الانصهار درجة تبلور نتريد البورون المكعبي. أما إذا حل في الخليط اليوتكتيكي (MgB<sub>6</sub>) مكان (MgB<sub>2</sub>) وبسبب درجة حرارة الانصهار العالية لهذا اليوتكتيك واللدونة العالية تنشأ ظروف لتبلور بلورات كبيرة من (BN<sub>cr</sub>) وذات خواص حرك عالية.

يتبلور في ظروف التخليق الستاتيكي النوع إسفالريت من الكربون أو نتريد البورون بينما في طريقة التخليق بالتفجير وبسبب الارتفاع المفاجئ للضغط (لنتريد البورون



حتى 18GPa وللغرافيت حتى 30GPa ) يتكون من الأشكال الغرافيتية ذات الأنواع البينية الكربون (لونسديليت) وتتريد البورون (هكسانيت). ويجري تكوّن هذه الأنواع حسب الآلية المارتنسية. ويمكن الحصول على الهكسانيت بخرج (90%) بتفجير تتريد البورون الغرافيتي الشكل الجاف أو الرطب، أما الماس المخلوط مع لونسديليت فنحصل عليه من الغرافيت فقط عند وجود مبردات مثل الحديد والنحاس في الخليط العامل. ويكون المزج بالنسبة للطور الغرافيتي في هذه الحالة في حدود (30÷50%) .

يستخدم للحصول على الضغط الستاتيكي اللازم والضروري لتخليق الألماس وأنواع تتريد البورون أساليب الطرق والكتل الساندة. ينحصر مبدأ الطرق في زيادة ضغط الكبس على حساب تركيز قوى الكبس على أكبر مساحة للسنبك، وتصنع السنبك والمصدات من خلائط قاسية من ماركة (WC)، وتكبس وهي ساخنة في كتل حلقية ساندة. وتكون السنبك عندها تحت إجهادات ضغط قطرية . توضع في تجويف المسند ما يسمى العدسية المصنوعة من حجر طباعي أو بروفليت (Profilit). تحتوي العدسية في داخلها على العينة المراد معالجتها، وتكون إما الغرافيت أو تتريد البورون (الشكل رقم ٢-٣) .



يؤدي تشوه العدسية إلى إحداث ظروف كبس شبه ستاتيكية. ويتم التوصل إلى درجة الحرارة المطلوبة للتخليق عن طريق مرور تيار كهربائي في العينة، ومع حدوث تفاعل التخليق تنخفض شدة التيار حيث إن الألماس المتشكل هو عازل كهربائياً. وعند وصول شدة التيار إلى قيمة معينة لا تتغير مع الزمن تنتهي عملية التخليق. تتألف العينة الحاصلة نتيجة هذه الطريقة من مساحيق الماسية ذات أبعاد وجزئيات تتراوح بين  $(1-800\mu m)$  وجزئيات الغرافيت والخفز غير المنسكبة. تطحن هذه العينات، ويفصل الألماس عن شوائب الركاز، ويصنف الألماس حسب الأبعاد والشكل والمتانة والحيويات المتعددة. يستخدم من أجل الطحن الطرق التقليدية (المطاحن الكروية، الكسارات الدوارة وغيرها) والنبضية التي تعتمد على تفتيت المادة باستعمال الضغط الهيدروستاتيكي. أما تصنيف مساحيق الألماس أو تنريد البورون حسب الأبعاد فيتم بمساعدة الفارزات الهوائية الشبكية ذات التأثير المستمر، وأيضاً باستعمال الفرز بالطرد المركزي للمساحيق شديدة النعومة، وبمقارنة الطرق العادية للفرز المستخدمة في مجال مساحيق المعادن نجد أن طريقة فرز وتصنيف مساحيق المواد عالية القساوة أكثر دقة وضبطاً. يستعمل للحصول على العدد من المواد عالية القساوة، التليد ذو الطور السائل و تحت ضغط أو التليد ذو التفريغ الكهربائي أو الكبس على الساخن تحت ضغط عالٍ. وبما أن الألماس وتنريد البورون هي مواد إسهامية التكافؤ ويجب أن تكثف عند درجة حرارة أكبر من  $(0.8T_m)$ ، فإنه لا يمكن استبعاد الارتفاع الملحوظ للدرجة حرارة الغرفة المستخدمة لهذا الضغط، وللتكثيف الشديد عند التليد. يتم الحصول على حد قاطع من مواد عالية القساوة تامة التبلور عن طريق الكبس على الساخن في حجرات الضغط العالي (الشكل رقم ٢-٣) عند درجات حرارة  $(1500 \div 3000 \text{ K})$  وضغط  $(5 \div 12 \text{ GPa})$ .



## الفصل الثالث

### نظرية تشكل الرايش عند قطع المعادن

- ٣-١ - التشوه اللدن للمعادن في منطقة القطع
- ٣-٢ - أشكال الرايش وظروف تشكله
- ٣-٣ - آلية تشكل الرايش
- ٣-٤ - آلية تشكل الرايش المستمر والرايش المنجزاً
- ٣-٥ - الحالات الأساسية للتشوه اللدن للمعدن في عملية القطع
- ٣-٦ - تشوه وانكماش الرايش



### ٣-١ التشوه اللدن للمعادن في منطقة القطع:

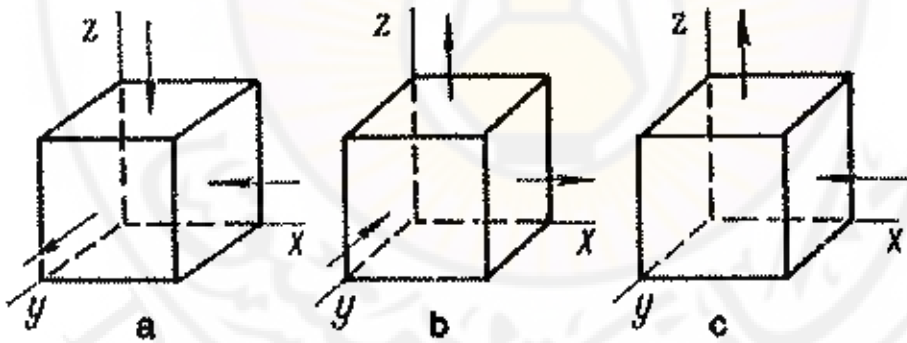
يُعد تحول الطبقة المنزوعة من المعدن إلى رايش من أحد أنواع عمليات التشوه اللدن للمادة. والتي يتغير شكلها تحت تأثير القوى الخارجية المشوهة. نميز ثلاثة أنواع رئيسية لحالة الجسم المشوه :

١- شدّ: ويظهر بتمدد في اتجاه أحد محاور التشوه الرئيسية الثلاثة  $x, y, z$ ،

وتقلص في الاتجاهين الآخرين (الشكل ٣-١-١). (a)

٢- ضغط: ويظهر تقلص في اتجاه واحد من اتجاهات محاور تشوه الجسم، وتمدد في الاتجاهين الآخرين (الشكل ٣-١-٢). ويسمى الضغط بالبسيط إذا كانت تشوهات التمدد متساوية فيما بينها.

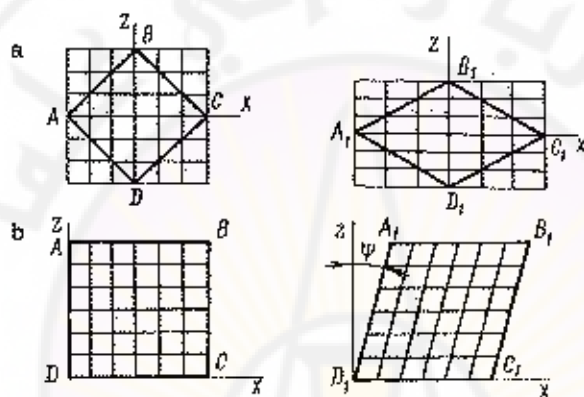
٣- قص: يحدث في حال انعدام تشوه الجسم في إحدى اتجاهات المحاور، ويحدث في الاتجاه الآخر تقلص وفي الاتجاه الثالث للمحاور تمدد مساوٍ للتقلص (الشكل ٣-١-٣). (c)



الشكل (٣-١)

الأشكال الثلاثة لحالة تشوه الجسم

يوجد نوعان من القص، قص بسيط وقص صافٍ. يحدث عند القص الصافي (الشكل ٣-٢-٣) تقصير متساوٍ للجسم باتجاه محوري واحد، وتعدد في الاتجاهين المحوريين الآخرين وذلك بشكل متعامد. ويتحول المربع  $ABCD$  إلى معيين  $A_1B_1C_1D_1$  دون تغيير في حجم الجسم. يرافق القص البسيط (الشكل ٣-٢-٣)، تحرك جميع نقاط الجسم بشكل موازٍ لأحد المحاور، وهذا يتحول المربع  $ABCD$  إلى متوازي أضلاع وأطوال أضلاعه تساوي طول ضلع المربع الأساسي.



الشكل (٣-٢)

مخطط التشوه للقص الصافي (a) والبسيط (b)

يصنف شد وضغط الجسم إلى حالة التشوه الحجمي، أما القص فإلى حالة التشوه السطحي.

يظهر بشكل واضح تشوه القص البسيط عند تحول الطبقة المنزوعة إلى رايش عند المعادن وذلك عند  $b \gg a$  (أبعاد قطع الطبقة المنزوعة)، وعملياً تحدث كسل حركات الطبقة المنزوعة في مستوى واحد.

تكون جزيئات الطبقة المنزوعة البعيدة عن أداة القطع غير مجهددة وتحرك باتجاه أداة القطع بسرعة ثابتة. وترداد الحالة الاجهادية للجزيئات القريبة من الحد القاطع للأداة،



وعندما تتعدى الحالة الاجهادية للجزئيات حد مرونة المعدن المشغل يحدث إزاحة لدنة وتغير اتجاه حركتها. ويحدث هذا التغير عند وجود الجزئيات في منطقة التشوه اللدن  $ABCD$  (الشكل ٣-٣-١). وعند انفصال طبقات المعدن بسماكة  $a$  وتحولها إلى رايش يزلق قسم منه على سطح الحد القاطع للأداة، والباقي يبقى يتحرك في الاتجاه الأساسي وبشكل مقترن بالسطح الأمامي والخلفي لأداة القطع، وذلك بزاوية  $\beta$  عن جهة الحركة. وتسمى هذه الزاوية بزاوية القص، ويحدث فصل الرايش عن الجسم المشغل.

تعتبر منطقة التشوه اللدن الانتقالية على شكل متوازي أضلاع  $ABCD$  (الشكل ٣-٣-٢). تتزلق على خط مستقيم. تكون سماكة هذه المنطقة  $\Delta x$  وتحرك بمقدار  $\Delta s$ . توافق قيمة  $\Delta s$  (الشكل ٣-٣-٣) المسافة التي تتحركها الجهة العليا للمربع بالنسبة للجهة السفلية، تسمى القص المطلق. في نظرية التشوهات اللدنة، ويعبر عن شدة القص بالقيمة  $\epsilon$ ، وتسمى القص النسبي، وهو يساوي نسبة القص المطلق  $\Delta s$  إلى سماكة الطبقة  $\Delta x$  المعرضة للقص أي:

$$\epsilon = \frac{\Delta s}{\Delta x}$$

والقيمة الهندسية لـ  $\epsilon$  تتعلق بزاوية ميل المربع  $ABCD$  عن المحور  $Z$  (الشكل ٣-٣-٢) أي

$$\epsilon = \tan \psi$$

تشوه عناصر الطبقة المنسزوعة  $ABCD$  وتحت تأثير الحد القاطع للأداة، وتأخذ شكل متوازي الأضلاع  $EBCN$ . تحسب شدة القص من المثلث  $CDN$  (الشكل ٣-٣-٢) يكون:

$$MC = \Delta x \quad , \quad ND = \Delta s$$

$$\hat{CMD} = 90^\circ$$

$$\hat{KNC} = \gamma$$

$$\hat{FKC} = \hat{NDC} = \beta$$

$$\hat{NCK} = \theta$$

$$(1-3) \varepsilon = \frac{\Delta s}{\Delta x} = \frac{ND}{MC} = \frac{MD}{MC} + \frac{MN}{MC} = \operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg}(\beta - \gamma)$$

يبين تحليل المعادلة (١) أن تحديد القص النسبي عند زاوية محددة  $\gamma$  من الضروري معرفة زاوية القص. ويمكن تحديدها من طول الرايش. وعند تحريك أداة القطع مسافة  $\Delta l$  يكون طول الرايش  $\Delta l_c$ . ومن المثلث  $\triangle ABE$  (الشكل ٣-٣-١) يكون:

$$\frac{\Delta l_c}{\sin \beta} = \frac{\Delta l}{\sin \delta} = \frac{\Delta l}{\cos(\beta - \gamma)}$$

و

$$\frac{\Delta l}{\Delta l_c} = \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin \beta}$$

تسمى النسبة  $K_t = \frac{\Delta l}{\Delta l_c}$  معامل الانكماش أو تقلص الرايش ويحسب من المعادلة:

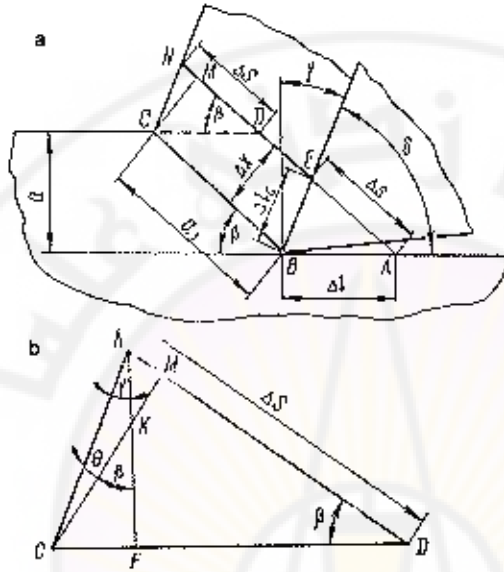
$$K_t = \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin \beta} \quad (2-3)$$

ويمكن استخراج زاوية القص من خلال معامل الانكماش  $K_t$

$$K_t = \frac{(\cos \beta \cdot \cos \gamma + \sin \beta \cdot \sin \gamma)}{\sin \beta} = \operatorname{ctg} \beta \cdot \cos \gamma + \sin \gamma$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\cos \gamma}{K_t - \sin \gamma} \quad \text{ومنه:}$$

تبين هذه المعادلات العلاقة الأساسية بين معامل الانكماش وزاوية القص وهذا يعكس تواصل مادة الرايش.



الشكل (٣-٣)

مخطط تحديد القص النسبي

يعتمد القص النسبي عند القطع على زاوية القص  $\beta$  وزاوية الجرف  $\gamma$  . ويمكن تحديد الزاوية  $\beta$  بمعرفة القيم  $a_c$  ،  $a_s$  أما الزاوية  $\gamma$  فهي معروفة دائماً . وعملياً تكون  $\epsilon = 2, \dots, 5$  ، ويمكن تحديدها عند أية قيمة للزاوية  $\beta$  يكون القص النسبي أصغرياً وذلك باستخدام المعادلة (٣-١) ومساواتها بالصفر :

$$\frac{d\epsilon}{d\beta} = -\operatorname{cosec}^2 \beta + \sec^2 (\beta + \gamma) = 0$$

هذه المعادلة صحيحة عند  $\beta = 90^\circ - (\beta - \gamma)$  وعندها :

$$[\beta]_{\varepsilon \rightarrow \min} = 45^\circ + \frac{\gamma}{2}$$

بمعرفة القصر النسبي يمكن تحديد سرعة التشوه ( $\text{sec}^{-1}$ ) التي تعرف بنسبة التشوه الأساسي الأعظمي  $\varepsilon_{\max}$  إلى زمن التشوه  $\tau_{\text{def}}$  بوحدة الزمن أي:

$$v_{kf} = \frac{\varepsilon_{\max}}{\tau_{\text{def}}}$$

في حالة التشوه غير المتساوي تحدد سرعة القصر أو سرعة القصر النسبي بالقصر النسبي بوحدة الزمن أي:

$$v_{\text{def}} = \frac{d\varepsilon}{d\tau}$$

وتعتمد سرعة التشوه  $v_{\text{def}}$  على درجة الحرارة التي ترافق عملية التشوه، فكلما زادت سرعة التشوه انخفضت الطاقة اللازمة للتشوه والحرارة الناتجة.

تحدد منطقة تشكل الرايش عند القطع التشوه اللدن للمعدن المنزوع. ويحدث التشوه اللدن بشدة في المناطق الضيقة جداً، وتعتبر هذه العلاقة على شكل مستطيل بسماكة  $\Delta x$  ويكون زمن تشوه المعدن المشغل في هذه المنطقة، يتألف من:

$$\tau_{\text{def}} = \frac{\Delta x}{v_c} = \frac{(\Delta x k_1)}{v}$$

$$v_{\text{def}} = \frac{\varepsilon v}{\Delta x k_1}$$

تكون سرعة التشوه عند القطع عالية جداً، وتكون أعلى من سرعة قطع سرعة اختبار المعادن على الصدم. تصل عادة عند تشغيل المواد الإنشائية العادية:

$$\Delta x = 0,02 \dots 0,05 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = 2 \dots 5$$

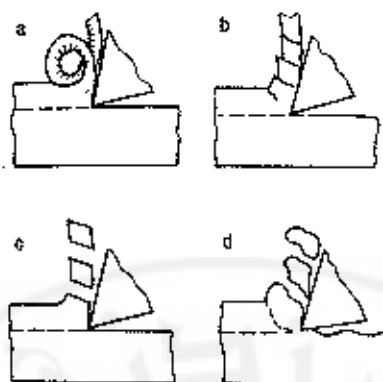
$$k_i = 2.....4$$

وعند سرعة قطع  $60 \text{ m/min}$  تكون سرعة التشوّه  $v_{def} = 4000 \frac{1}{\text{sec}}$ ، لا تسمح سرعات التشوّه العالية الفصل بين المواد الهشة واللينة، وذلك كون المادة يمكن أن تبدو هشة أو لدنة بالاعتبار على الحالة الاجهادية، وسرعة التشوّه وعلى سبيل المثال عند خراطة الحديد الصلب يمكن أن يكون الرايش مستمراً أما عند تشغيل الفولاذ الطري فيكون الرايش مجزئ.

### ٣-٢- أشكال الرايش وظروف تشكله:

تصنف أشكال الرايش وفق ما يلي (الشكل ٣-٤):

رايش مستمر وغير متجانس ومجزئ أو غير متواصل ومكسر أو مفتت. يتألف الرايش غير المتجانس من أجزاء منفصلة، ويكون سطح الرايش الملامس لسطح الحد القاطع للأداة أملس، ويتشكل عند تشغيل الفولاذ والمعادن اللدنة عند سماكة كبيرة للرايش وسرعة قطع نسبياً منخفضة وزاوية جرف  $\gamma$  غير كبيرة. عند تقليل سمك الرايش وزيادة سرعة القطع وزيادة قيمة زاوية الجرف تصبح أجزاء الرايش أقل دقة وتخرج بدون حزوز على الوجه الخارجي للرايش (أي يتشكل الرايش المستمر). أما عند زيادة سماكة القطع (سماكة الرايش) وتقليل سرعة القطع وزاوية الجرف  $\gamma$  تصبح الأجزاء المنفصلة من الرايش أقل اتصالاً مع بعضها أي يتشكل الرايش المجزئ. وتتشكل هذه الأنواع الثلاثة من الرايش عند تشغيل المعادن اللدنة.



الشكل (٣-٤)

### أنواع الرايش

*a* مستمر *b* غير متجانس *c* مجزأ *d* مفتت

يحدث في حالة تشغيل المعادن الهشة عند سماكة رايش كبيرة وزاوية جرف  $\gamma$  كبيرة، نزع أجزاء هشة من المعدن بأشكال غير منظمة. ويسمى الرايش في هذه الحالة الرايش المكسر أو المفتت. ويتشكل على سبيل المثال عند تشغيل الفونت الذي يتمتع بمقاومة شد سيئة.

تظهر في الطبقة المقطوعة عند زاوية جرف  $\gamma$  كبيرة إجهادات قص تؤدي إلى تقطيع أجزاء المعدن. إذا تم عند تشغيل الفونت زيادة سرعة القطع يتشكل الرايش المجزأ، أما عند سرعة قطع عالية جداً يعطي الفونت رايشاً مستمراً رغم المثانة المنخفضة مقارنة مع الفولاذ.

لا تعطي في الوقت الحاضر تصنيفات أشكال الرايش السابقة صورة دقيقة، فعند تشغيل الفولاذ هناك أكثر من ثلاثين نوعاً من الرايش، يبين الشكل رقم ٣-٥ بعض أنواع الرايش عند تشغيل الفولاذ.

| الصف 1 مستمر         |       |       |               |                     |                        |         |     |        |
|----------------------|-------|-------|---------------|---------------------|------------------------|---------|-----|--------|
| شكل غير مستمر - شرطي |       |       |               | شكل مستمر حلزوني    |                        |         |     |        |
| مجدول                | متجدد | متشعب | حلزون<br>مسطح | مسطحي               | لولبي                  |         |     |        |
|                      |       |       |               |                     | تلسكوبي                | أسطواني | موج | متناهي |
|                      |       |       |               |                     |                        |         |     |        |
| الصف 2 مقطع          |       |       |               |                     |                        |         |     |        |
| شرطي                 |       |       |               | حلزوني مقطع الأجزاء |                        |         |     |        |
|                      |       |       |               |                     |                        |         |     |        |
|                      |       |       |               |                     | حلزون من جزء واحد      |         |     |        |
|                      |       |       |               |                     |                        |         |     |        |
|                      |       |       |               |                     | أجزاء مقطعة من الحلزون |         |     |        |
|                      |       |       |               |                     |                        |         |     |        |
|                      |       |       |               |                     | أجزاء متصلة            |         |     |        |
|                      |       |       |               |                     |                        |         |     |        |

الشكل (٣-٥)

أنواع الرايش المستمر عند تشغيل الفولاذ

### ٣-٣-٣ آلية تشكل الرايش:

#### ٣-٣-٣-١ المودول الشكلي لمنطقة تشكل الرايش:

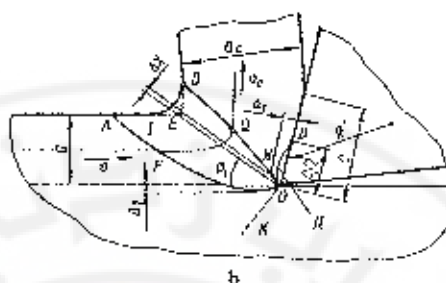
يكون دائماً السطح الحر للرايش غير مستوي، ويظهر عادة عليه أمواج وتعرجات صغيرة أو أنلام (قللعات). وحتى على الرايش المستمر المتين يمكن ملاحظة شقوق وتمزقات. ولصعوبة الشرح الكامل لآلية تشكل الرايش ولتحليل الإجهادات والتشوه عند القطع وتشكل الرايش نلجأ إلى نمذجة مبسطة للعملية. بإهمال تشوه شكل مقطع الرايش الحقيقي وزيادة في عرض الرايش، يعتبر مقطع الرايش على شكل مستطيل، ارتفاعه هو متوسط سمك الرايش، وعرضه هو عرض الرايش غير المقطوع عند هذه الفرضيات ينظر إلى تشكل الرايش على أنه مقطع عرضي مثالي وعمودي على الحد القاطع.

عملياً مثل هذا المقطع يمكن ملاحظته عند تحضير وصقل جذر الرايش (الشكل ٣-٦-١-٥). يؤثر الإسفين القاطع على سماكة طبقة الرايش المقطوع (a) (سمك السرايش اللامشوه) على مسافة الاتصال بين الرايش والقلم c (الشكل ٣-٦-١-٥). تؤثر أداة المقطع على السطح الأمامي للطبقة المقطوعة بقوة تشكل الرايش  $R'$ . يفصل الخط  $OK$  بين مجالي إجهادات الشد وإجهادات الضغط في المعدن المشغل تحت مستوى المقطع.

يظهر التشوه الأولي في المنطقة I ( $OABNO$ ) من المشغولة المتوضعة أمام أداة القطع، ويكون شكل هذه المنطقة إسفيني تتطابق قمته مع قمة أداة القطع؛ ويتطابق الخط المقعر  $OA$  مع مستوي القطع ويكون الخط  $OA$  أكبر بـ ٢-٤ مرات من الخط المحدب  $OB$ .

يتحرك السطح المشغل من ناحية الرايش المقابلة  $a$





الشكل (٣-٦)

(a) جذر الرايش المتواصل

(b) منطقة التشوه الأولي والثانوي في عملية شكل الرايش

لأداة القطع على الخط  $AB$ . وتقع على يمين الخط  $OB$  منطقة الحبيبات المتشوه المشكلة للرايش، وعلى يسار الخط  $OA$  منطقة حبيبات المعدن غير المشوه. تتحرك حبيبات طبقة المعدن المقطوع بالنسبة لأداة القطع بسرعة  $v$  وفق الخط  $FQ$  وتشوه بشكل كبير. وينتهي تشوه الحبيبات عند المنطقة  $Q$  وتصبح سرعتها  $v_e$  وتساوي سرعة الرايش.

أظهرت الأبحاث المتعددة أنه عند زيادة المقطع لا تظهر زيادة كبيرة في عرض الرايش، لهذا يمكن اعتبار حالة التشوه في منطقة تشكل الرايش حالة سطحية صفائية، وأن الطبقة المنزوعة في عملية القطع تتعرض لتشوه لدن (إجهادات قص). يظهر الخسب  $OA$  سطح القص (الانزلاق) الذي تكون عليه إجهادات القص  $\tau$  تساوي حد الانسياب على القص  $\tau_c$  للمعدن أي  $\tau = \tau_c$  وتقسّم كل المنطقة ( $OABNO$ ) إلى مستويات متماثلة يكون على كل مستوى إجهادات قص تساوي حد الانسياب للمعدن

الذي حصل على تميز نتيجة التشوه الحاصل. ولا يحدث تشوه بعد الخط  $OB$  ويكون إجهاد القص بعده  $\tau$  يساوي حد الانسياب على القص  $\tau_c$  للمعدن الممتن بشكل نهائي نتيجة تحول الطبقة المنزوعة إلى رايش.

لا ينتهي تشوه المعدن المنزوع عند هذا الحد، وذلك بسبب الاحتكاك بين سطح الرايش و سطح أداة القطع، وتخفض حبيبات الرايش لتشوه بعد خروجها من منطقة التشوه الأولي إلى تشوه نتيجة احتكاكها مع سطح أداة القطع. وتظهر منطقة التشوه الثانوي للرايش - المنطقة II (الشكل 3-6-b) وهي محاطة بـ سطح أداة القطع والخط  $OND$ . يساوي عرض المنطقة II (الطول  $OD$ ) تقريباً نصف مسافة التماس مع أداة القطع  $C$ ، وتبلغ السماكة الأعظمية للمنطقة  $\Delta_1$  وتساوي تقريباً  $(\Delta_1 = 0.1a_c)$ . وتصل درجة التشوه في المنطقة II إلى أكثر من 20 مرة من التشوه الأولي. وتحدد قوى الاحتكاك بين سطح الرايش و سطح أداة القطع أبعاد منطقة التشوه الثانوي ودرجة التشوه.

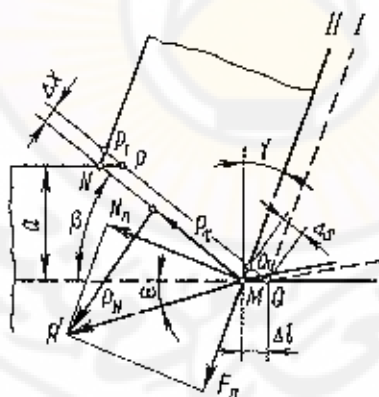
يؤدي انخفاض قوى الاحتكاك إلى صغر أبعاد المنطقة II وانخفاض درجة التشوه في المنطقة. عند خفض  $a$  وزيادة  $\gamma$  واستخدام سوائل التبريد ذات خواص تزليق عالية تختفي عملياً المنطقة II، وفي هذه الحالة تبقى سماكة الرايش واحدة.

تكافئ سماكة طبقة التشوه الأولي سماكة الطبقة المنزوعة، وذلك فقط عند قيم صغيرة لـ  $\gamma$  وسرعة قطع منخفضة وعمق قطع كبير. عند القيم  $\gamma, a$  المستخدمة في ظروف الإنتاج ينخفض بسرعة طول الخط  $FQ$  (خط التشوه الأولي) وتتحرك الحدود  $OB$  و  $OA$  لتقترب من الخط  $OE$  (الشكل 3-6-b) مشكلة الزاوية  $\beta$  مع مستوي القطع. ويسمح هذا بتحديد التشوه القاص في طبقة رقيقة سماكتها  $\Delta x$ ، ويمكن تبديل مستويات القص بمستوي قص واحد هو  $OE$  يسمى مستوي القص الشرطي (الافتراضي). بهذا يمكن اعتبار عملية تحول الطبقة المنزوعة إلى رايش على

أما عملية قص متتالٍ لطبقات رقيقة من المعدن المشغل باتجاه مستوي القص الافتراضي.

### ٣-٢-٣ مخطط تشكّل الرايش المتواصل بمستوي قص وحيد:

لنفرض أن أداة القطع يجب أن تنتقل من الوضعية I إلى الوضعية II (الشكل ٧-٣) وذلك لمسافة  $\Delta l$  ، بهذه الحالة تنتقل النقطة  $Q$  من الطبقة المنزوعة التي على شكل متوازي الأضلاع  $MNPQ$  ، والتي هي رأس الحد القاطع إلى النقطة  $Q_1$  . أما النقطة  $P$  فتنتقل إلى النقطة  $P_1$  المتوضعة على الجهة الخرة من الرايش. بالنتيجة يتحول متوازي الأضلاع  $MNPQ$  نتيجة التحرك بالنسبة للخط  $NM$  لمسافة  $\Delta s$  إلى متوازي أضلاع  $MNP_1Q_1$  الذي لا يتبع الطبقة المنزوعة بسماكة  $a$  وإنما يتبع للرايش. وبالإستمرار بتحريك أداة القطع  $\Delta l$  تتكرر العملية السابقة نتيجة القص المستمر للطبقات الرقيقة من المعدن وفق مستوي القص الافتراضي، وبدون انهيار المتواصل بين الطبقات المقطوعة أي بدون تقطع مادة الرايش.



الشكل (٧-٣)

مخطط تحول الطبقة المنزوعة إلى رايش متواصل

وللإجابة عن سؤال لماذا يحدث القص في الطبقة المنزوعة باتجاه مستوي القص الافتراضي ومنى يبدأ هذا القص؟ ، ندرس القوى المؤثرة على الطبقة المنزوعة من جهة سطح الأداة.

تؤثر الأداة على الطبقة المنزوعة بقوى ناظمية على الوجه الأمامي  $N_n$  التي تولد قوى احتكاك  $F_n = \mu N_n$  حيث  $\mu$  معامل الاحتكاك بين الرايش والأداة. تعطي محصلة القوى  $N_n$  و  $F_n$  القوة  $R'$  وهي قوة تشكل الرايش، وتعمل عند سطح القص بزاوية التأثير  $\omega$ . بتحليل القوة  $R'$  إلى: القوة  $P_n$  العمودية على مستوي القص الافتراضي  $MN$  والقوة  $P_\tau$  المؤثرة باتجاه مستوي القص. تنضغط الطبقة المنزوعة سحابة  $\Delta x$  بتأثير القوة  $P_n$  وتقص بتأثير القوة  $P_\tau$  التي تسمى قوة القص. وتحدث عملية التشوه عندما تتعدى إجهادات القص حد الانسياب على القص للمادة.

تكون الإجهادات على مستوي القص الافتراضي

$$\tau = \frac{P_\tau}{(MNb)}$$

$b$  - عرض الطبقة المنزوعة.

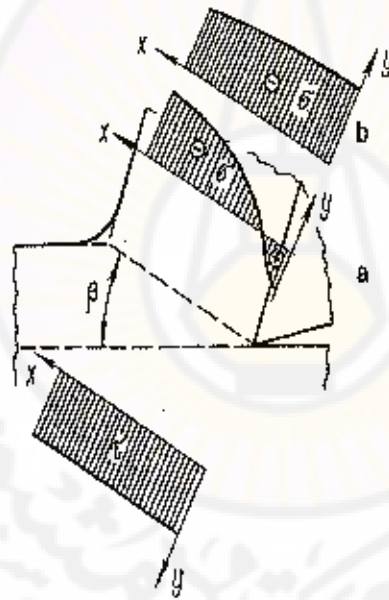
$$MN = \frac{a}{\sin \beta} \quad \text{وبما أن}$$

$$\tau = \frac{P_\tau \cdot \sin \beta}{(a \cdot b)} \quad \text{عندها}$$

$$P_\tau = R' \cos(\omega + \beta) \quad \text{وباعتبار}$$

$$\tau = \frac{R'}{\cos(\omega + \beta) \cdot \sin \beta \cdot (a \cdot b)} \quad \text{عندها}$$

وتبدأ عملية تشكيل الرايش عندما يكون إجهاد القص  $\tau$  يساوي أو أكبر مسن حد الانسياب على القص للمادة المشغلة  $\tau_c$ . أثبتت أن قيم  $\gamma$  و  $\alpha$  و  $\nu$  لا تؤثر على الإجهادات المماسية في مستوي القص الافتراضي وإنما تؤثر على الإجهادات الناعمية. عند قيم  $\gamma$  كبيرة ومعامل احتكاك منخفض تقل الإجهادات الناعمية على مستوي القص الافتراضي في تقطع الرايش من جهة أداة القطع، وفي بعض النقاط يمكن لهذه الإجهادات أن تغير الاتجاه بشكل معاكس (الشكل ٨-٣). أما عند قيم  $\gamma$  صغيرة ومعامل احتكاك مرتفع يتغير اتجاه الإجهادات الناعمية في مقطع الرايش بشكل معاكس، ولا تؤثر تغير القيم على الإجهادات المماسية.



الشكل (٨-٣)

مخطط الإجهادات الناعمية  $\sigma$  والمماسية  $\tau$  في مستوي القص  
(a) عند  $\gamma$  كبيرة (b) عند  $\gamma$  صغيرة

يتوضع مستوي القص الافتراضي بين منطقة المعدن غير المشوه من الطبقة المنسزوعة ومنطقة التشوه الكامل لمعدن الرايش. يتشكل نتيجة التشوه اللدن لمعدن الرايش شرائح على شكل طبقات متوضعة. تشكل زاوية مع مستوي القص الافتراضي (الشكل ٣-٩-٩) تسمى زاوية التوضع  $\psi$ ، تكون خطوط القص عبارة عن حلقات متصلة من حبيبات التشوه لمعدن الرايش المتشكلة بعد عبور مستوي القص الافتراضي.

يفسر تشكل الشرائح كما يلي (الشكل ٣-٩-٩-٩):

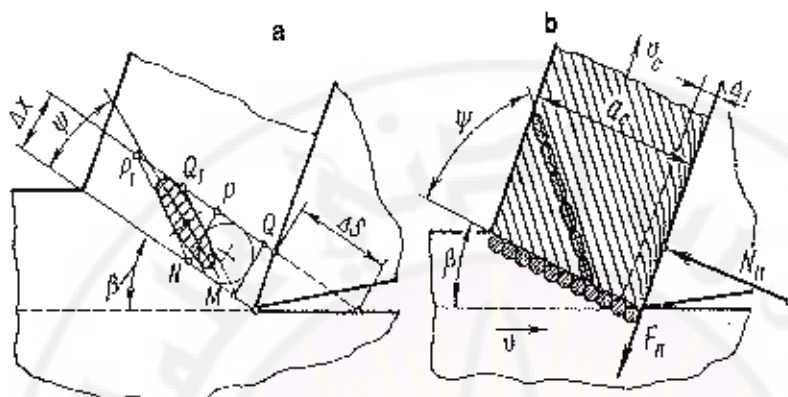
نعتبر أن الحبيبة الكروية من طبقة المعدن المنزوع محاطة بمكب طول ضلعه يساوي سماكة الطبقة المزاحة؛ وفي المستوي العامودي على الحد القاطع للأداة يكون نصف قطر الكرة  $\Delta x/2$ . ونتيجة تحرك الطبقة العليا بالنسبة للأخرى لمسافة  $\Delta s$  يحدث التشوه، ويتحول المربع  $MNPQ$  إلى متوازي أضلاع  $MNPQ_1$  وبالتالي تتحول الدائرة إلى قطع ناقص قطره الكبير يميل بزاوية توضع  $\psi$ .

ويمكن تحديد قيمة  $\psi$  من المعادلة:

$$\operatorname{ctg} \psi = \frac{\left[ \varepsilon + (\varepsilon^2 + 4)^{1/2} \right]}{2}$$

حيث  $\varepsilon$  - القص النسبي عند تحول الطبقة المنزوعة إلى الرايش. وتشكل السلسلة المكونة من القطوع الناقصة المتكونة من الدوائر الشرائح المشوهة (الشكل ٣-٩-٩-٩). تعتمد زاوية التوضع على درجة تشوه الطبقة المنزوعة والمحدد بالقص النسبي وكلما زادت  $\varepsilon$  انخفضت قيمة  $\psi$ . ويعتبر تحول الحبيبات الكروية إلى قطوع ناقصة هو نتيجة التشوه الأولي للطبقة المنزوعة وعبور الحبيبات مستوي القص الافتراضي. وعند غياب الاحتكاك بين الرايش والأداة تكون خطوط الشرائح متوازية فيما بينها وزاوية توضع  $\psi$  ثابتة، ويمكن بسبب قوى الاحتكاك  $F_{\parallel}$  أن تتكون طبقة من الرايش المواجه للأداة بسماكة  $\Delta_1$  (الشكل ٣-٩-٩-٩) تفقد فيها الحبيبات التي على شكل قطع ناقص

والمشوهة في المرحلة الأولى شكلها المنتظم، وتنحني خطوط الشرائح نتيجة التشوه الإضافي للطبقة المنزوعة.



الشكل (٩-٣)

مخطط تحول الحبيبات الكروية إلى قطوع ناقصة وتشكل الشرائح

### ٣-٣-٣ مخطط تشكل الرايش المجزأ:

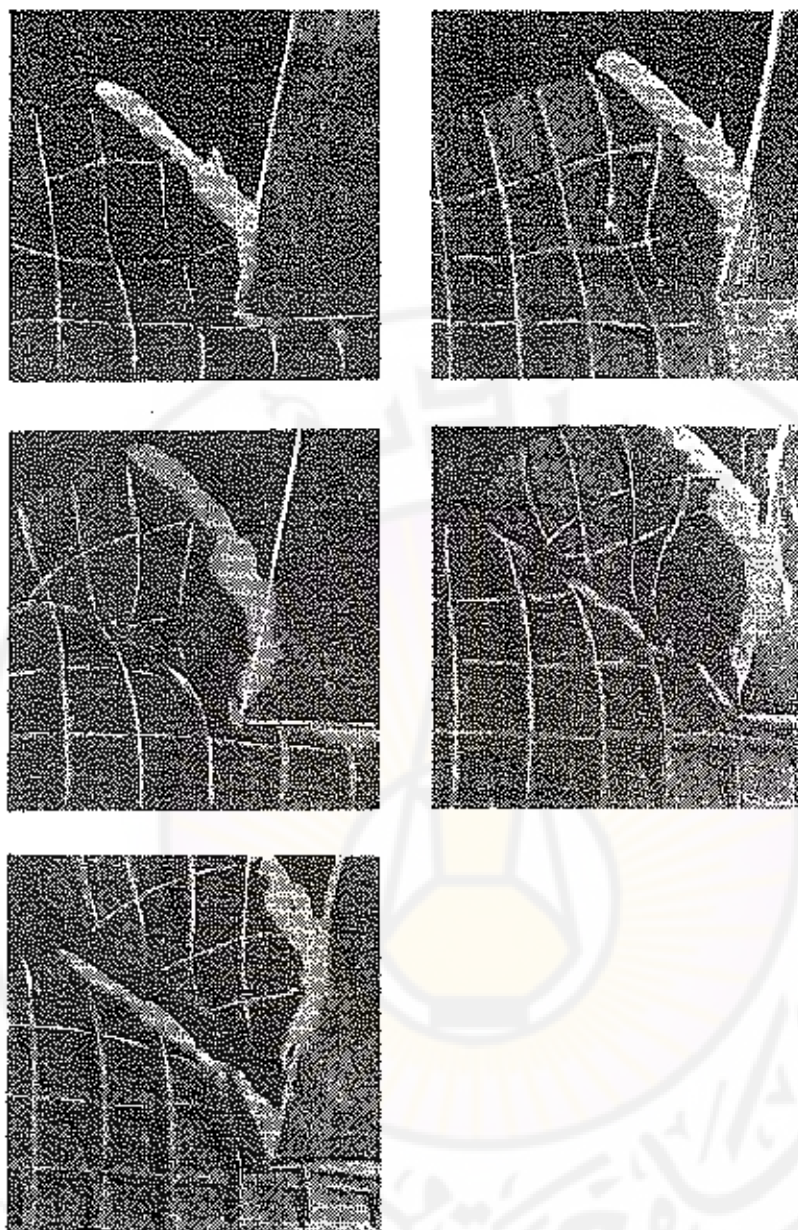
أثبت عند دراسة منطقة تشكل الرايش أن قبل حدوث الانهيار وفق مستوي الانزلاق (الشكل ٣-١٠) تنشأ في الأجزاء التي ستصبح رايش تشوهات ضغط تؤدي إلى انسياب معدن الطبقة المنزوعة باتجاه عامودي على السطح الأمامي للأداة، ويحدث تحول الطبقة المنزوعة إلى رايش مجزأ كما يلي (الشكل ٣-١١).

عند حركة أداة القطيع لمسافة  $\Delta l$  يشوه سطح الأداة الأمامي حجماً من المعدن محدداً بمتوازي الأضلاع  $M_0MNN_0$ . وعند تحطيم الإجهادات الضاغطة حد انسياب المعدن المشوه يبدأ متوازي الأضلاع  $M_0MNN_1$  بالتحرك على الوجه الأمامي للأداة،

وتتحرك النقطة  $M_0$  ليس إلى مكان النقطة  $K$  كما هو الحال عند تشكل الرايش المستمر، وإنما إلى مكان النقطة  $Q$ . وبالوقت نفسه يتقل الضلع  $M_0N_0$  في متوازي الأضلاع إلى  $QP$ . وبالنسبة يتحول الجزء من الطبقة المنزوعة  $M_0MNN_0$  إلى جزء من الرايش  $MNPQ$ . وعند انتهاء التشوه اللدن للمعدن المشغل يبدأ الجزء المنزوع بالانهيار وفق مستوي القطع، ويتحرك الجزء المقطوع إلى الأعلى وفق مستوي مسطح الأداة. وكلما زادت درجة تشوه الطبقة المنزوعة زاد تحول شكل الرايش من شبه منحرف  $MNPQ$  حتى يصل إلى شكل مثلث. وهذا يصبح ضلع جزء الرايش  $MN$  أطول منه عند حالة شكل الرايش المستمر.

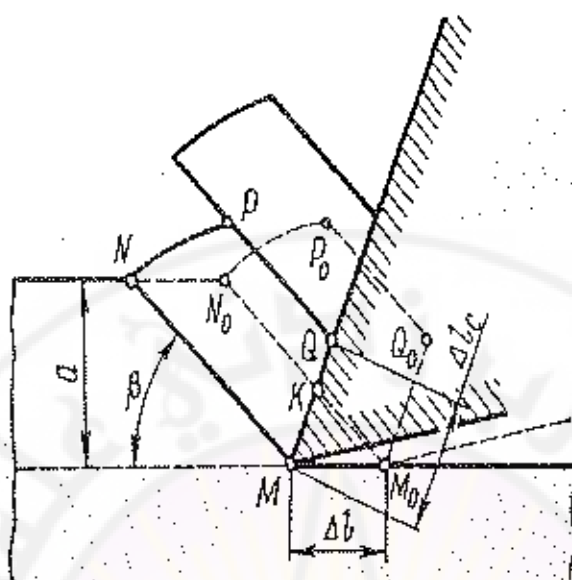
يبين الشكل ٣-١٢ مخطط تشكل الرايش، عند قطع المواد الهشة تتشكل بسبب تأثير الحد القاطع شقوق تتوزع باتجاه شعاع السرعة. في البداية عند تشكل الرايش يحدث ارتفاع مستمر في قوى القطع التي تؤدي إلى نمو شق رئيسي 3، ويستمر بالنمو حتى تشكل إجهادات الحناء في الرايش ويؤدي إلى انخفاض سريع في قوى القطع وانفصال جزء الرايش وفق سطح القطع 2. ويحدث في المرحلة الثانية تنظيف سطح القطع 1 الذي يتصف برايش مؤلف من أجزاء صغيرة وفق المخطط. أما إذا حدث نمو الشق الرئيسي تحت مستوي القطع لا تحدث المرحلة الثانية. يعود سبب تشكل الشقوق الميكروية إلى زيادة مستويات الانزلاق مع زيادة التشوه اللدن الذي يؤدي إلى تشوه إجهادات شد.





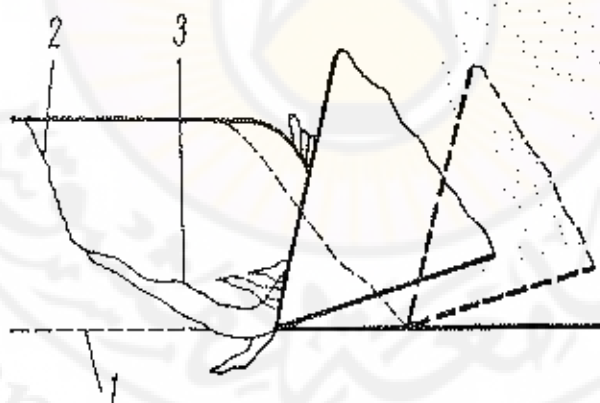
الشكل (٣-١٠)

تشكل المراهش الجزأ



الشكل (١١-٣)

مخطط تحول الطبقة المنسوجة إلى رايش مجزأ



الشكل (١٢-٣)

مخطط تشكّل الرايش عند قطع المواد النسيطة

### ٣-٣-٤ طرق دراسة منطقة تشكل الرايش:

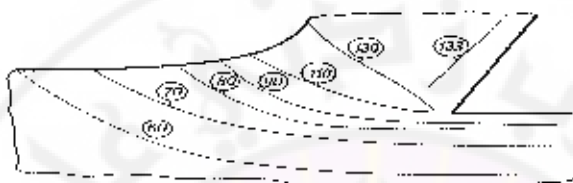
تعد دراسة منطقة تشكل الرايش عند قطع مواد مختلفة مهمة في نظرية القطع. تقسم طرق دراسة وبحث بارامترات تشكل الرايش إلى مجموعات: تجريبية تدرس مباشرة عملية القطع؛ وتجريبية تدرس منطقة تشكل الرايش بمساعدة الطرق العامة للبحث؛ وتجريبية تدرس منطقة تشكل الرايش بالطرق العامة للبحث؛ وتجريبية تدرس منطقة تشكل الرايش بطرق النمذجة الفيزيائية؛ وطريقة التحليل الحاسوبية (النمذجة الرياضية). يمكن إجراء الدراسة المباشرة لمنطقة القطع باستخدام التصوير السريع لمجموعة الأدوات المشغولة، حيث يوضع على المشغولة إحداثيات على شكل شبكة بخطوات ثابتة. ويمكن هنا تقييم وتحديد توضع مستوي القص وطبيعة تشكل الرايش وعوامل أخرى (أنظر الشكل ٣-١٠).

ويمكن أيضاً دراسة منطقة تشكل الرايش عند القطع بدراسة جذر الرايش بمساعدة نظام خاص يحدد فوراً وضع الأداة. يحضر من الجذر عينات تخضع لمعالجة وتحدد زاوية القص  $\beta$  وزاوية التوضع  $\gamma$  ومعامل الانثفاخ (التمدد)  $K$  وأبعاد منطقة التشوه الإضافي ومعامل الاحتكاك  $\mu$  على سطح الأداة وغيرها. يمكن من خلال المجموعة الأولى تحديد وإظهار خط الانزلاق، يعرض جذر الرايش لإظهار (تخريش) حيث يظهر خط الانزلاق على شكل خط غامق. كما يمكن وضع طبقة رقيقة من الأكاسيد على العينة، وعند نزع طبقة الأكسيد عن المنطقة المشوه يظهر خط الانزلاق الذي يمكن بواسطته تحديد القص.

تعتمد المجموعة الثانية على طريقة تحديد الحالة الإجهادية بقياس القساوة، والمبنية على أن عند تشوه المعدن تكون العلاقة بين الإجهادات المماسية والقساوة:

$$\tau = 0,185HV$$

نرسم شبكة بخطوات صغيرة على سطح المشغولة، وفي كل مربع من الشبكة تحدد القساوة (أو القساوة المجهريّة) ويوصل النقاط المتساوية بالقساوة نحصل على منطقة التشوّه الأولى والإضافي الشكل (٣-١٣).



الشكل (٣-١٣)

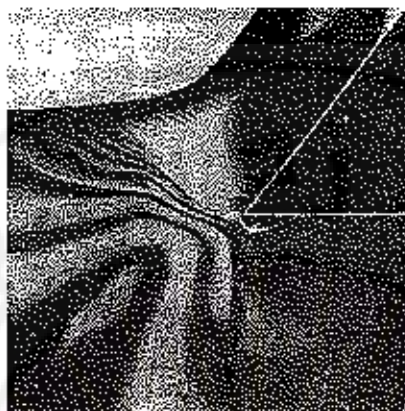
توضع مناطق القساوة على جذر الرايش

تنتمي طريقة الاستقطاب البصري إلى مجموعة النمذجة الفيزيائية لدراسة منطقة تشكّل الرايش. في البداية توضع طبقة رقيقة من مادة بصرية فعالة على السطح المدروس. ونتيجة التحميل في ضوء مستقطب يمكن تحديد الإجهادات الأساسية، والتشوّه واتجاهه عن طريق المخطط المنعكس (الشكل ٣-١٤).

تحدد طريقة النمذجة الرياضية بارامترات تشكّل الرايش بدون إجراء الاختبارات، وهي تعتمد على أن عملية القلع هي عبارة عن عملية تشوّه جسم بخصائص محددة وسلوك محدد.

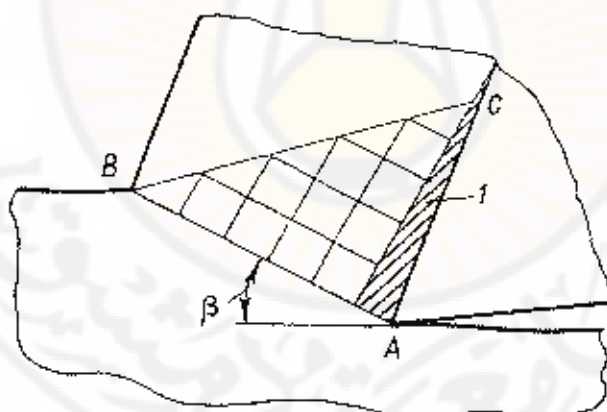
يدرس موديل لي شافير *Li-shaffer* شبكة من خطوط الانزلاق على شكل مثلث بسيط قائم *ABC* (الشكل ٣-١٥) يكون المعدن داخله في حالة لدنة. وعن طريق تحليل وتحديد الإجهادات في منطقة القص والسطح الأمامي تحدد العلاقة بين زوايا القص والاحتكاك وزوايا الجرف. تمت في الوقت الحاضر تطوير هذا الموديل بإدخال

العلاقة بين خواص المادة المشغلة ودرجة الحرارة في منطقة تشكل الرايش والتقسية  
نتيجة التشوه.



الشكل (١٤-٣)

صورة الإجهادات في المادة الفعالة المستقطبة



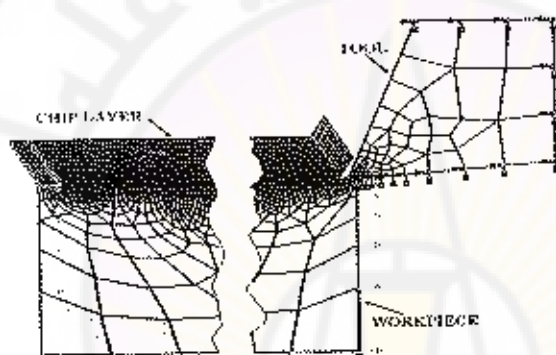
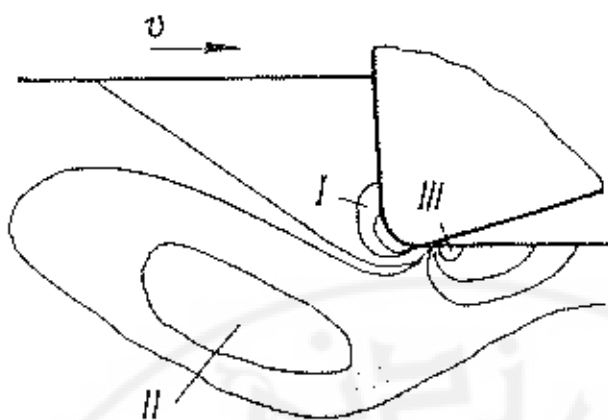
الشكل (١٥-٣)

مخطط موديل منطقة شكل الرايش حسب لي-شافير

١- منطقة التشوه الإضافي

انتشرت بشكل واسع طريقة العناصر المنتهية، وهذه الطريقة تعتمد على النمذجة الرياضية، وباستخدام الحاسب نستخدم بشكل واسع في ميكانيك التشوه للجسم الصلب. تتميز هذه الطريقة بالمرونة وبسهولة الاستخدام والوثوقية. يعتمد جوهر هذه الطريقة على تقسيم الجسم ومنطقة الإجهادات والتشوه إلى مناطق صغيرة - عناصر منتهية. في المسائل السطحية تكون المناطق عبارة عن مثلثات أو مربعات، وفي المسائل الحجمية - أهرامات. بعدها يوضع قانون لقياس الإجهاد والتشوه في كل عنصر منته. في أبسط الحالات تكون الإجهادات والتشوه في جميع نقاط العنصر واحدة، وهذا يسهل المسألة وحلها. وتكون الأخطاء في طريقة العناصر المنتهية بنسب متدنية. تستخدم طريقة العناصر المنتهية في عملية القطع في اتجاهين مرتبطين، من ناحية تدرس الإجهادات والتشوهات والتوزيع الحراري في منطقة القطع، ومن ناحية أخرى يوضع نموذج حالة أداة القطع تحت تأثير حمولة (الشكل ٣-١٦).





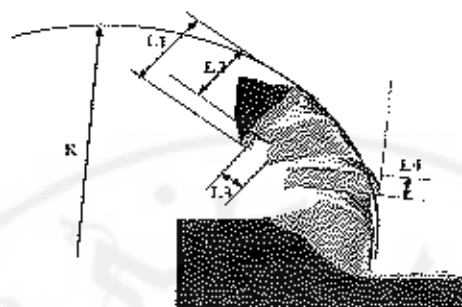
الشكل (١٦-٣)

نمذجة توزيع الإجهادات بطريقة العناصر المنتهية

I - مجال إجهادات الضغط

II و III - مجال إجهادات الشد

بعض الأمثلة عن دراسة منطقة تشكيل الرايش:

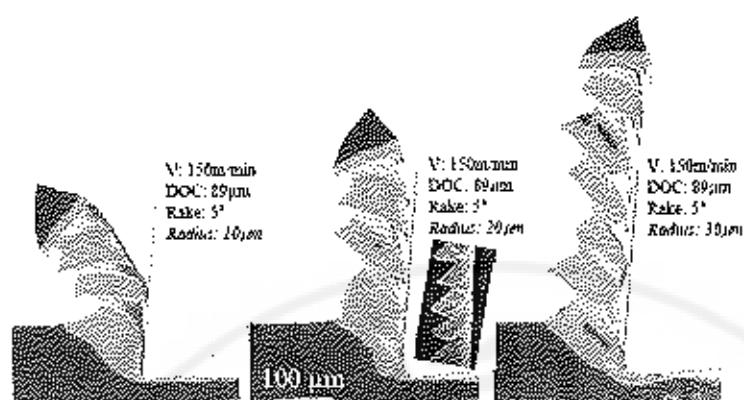


CHARACTERISTIC DIMENSION  
PARAMETERS OF SAW-TOOTH CHIP.



Stress contour plot obtained from simulation

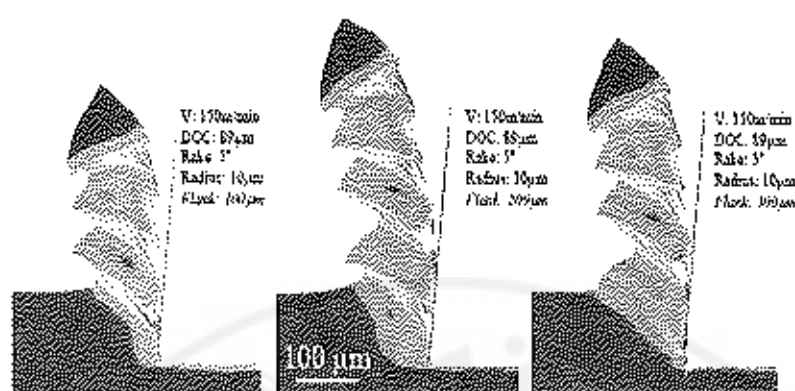




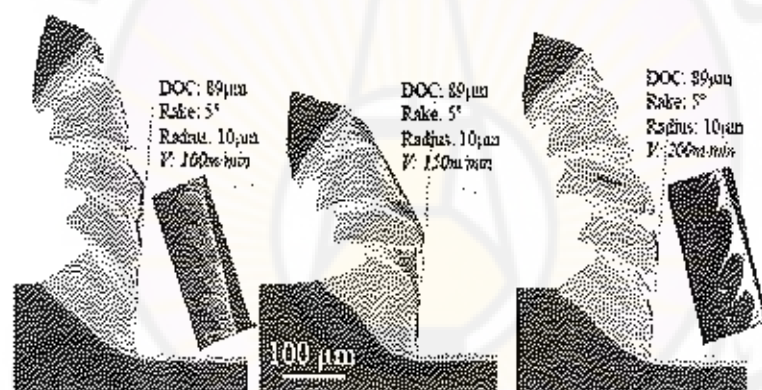
CHIP MORPHOLOGY AT DIFFERENT  
EDGE RADIUS.



CHIP MORPHOLOGY AT DIFFERENT  
CHAMFER ANGLES.



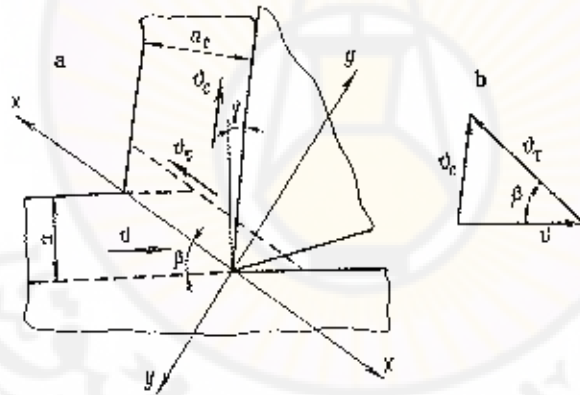
CHIP MORPHOLOGY AT DIFFERENT FLANK WEAR.



CHIP MORPHOLOGY AT DIFFERENT CUTTING VELOCITIES.

### ٣-٤- آلية تشكيل الرايش المستمر والرايش المجزأ:

يبين الشكل (٣-١٧-أ) مخطط تشكيل الرايش المستمر والذي يظهر المحور  $x$  متوضعاً على الحدود السفلى لمنطقة التشوه اللدن، وتحرك جميع الجزيئات التي تقع أمام هذه الحدود بسرعة قطع  $v$  بالنسبة للحد القاطع. وبعد أن تقطع الجزيئات سرعة حدود المنطقة وبسبب الإزاحات اللدنة تحصل على إزاحة إضافية بسرعة  $\bar{v}_r$  متجهه باتجاه المحور  $x$ . تكون السرعة على هذا المحور تساوي  $v_r = 0$  وأما على الحدود العليا للمنطقة الانتقالية للتشوه اللدن تكون السرعة عظمى. وبالتيجة فإنه في كل لحظة زمنية  $t$  يكون لجزيئات المعدن سرعة مطلقة  $\bar{v}_r$  تتكون من سرعة القطع  $v$  وسرعة الإزاحات اللدنة  $\bar{v}_r$ ، ويكون اتجاهها منطبقاً على خط الانزلاق الذي عليه الجزيئات في تلك اللحظة. وبالتالي تكون السرعة على المحور  $x$ :  $\bar{v}_r = v$  أما على الحدود العليا للمنطقة اللدنة تكون  $\bar{v}_r$  منطبقة على  $\bar{v}_r$  (سرعة تحرك الرايش على سطح القلم).



الشكل (٣-١٧)

نظرية حركة تشكيل الرايش

نجد من مخطط السرعة المجزئات الواقعة على الحدود العليا لمناسطق التشوه اللدن  
(الشكل ٣-١٧-ب):

$$v_r = \frac{v \cdot \cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)}$$

$$v_c = \frac{v \cdot \sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)}$$

تسمى السرعة  $v_r$  في نظرية القطع سرعة التشوه، وتقاس بسالمتر في الثانية. تقع السرعات  $v$  و  $v_r$  و  $v_c$  في عمليات الخراطة في مستو عامودي على الحد القاطع، ويسمى هذا المستوي بمستوي تشكل الرايش. وتمس الزاوية بينه وبين المستوي الانزلاق الرئيسي بزاوية خروج الرايش  $\vartheta$ . ويتغير اتجاه خروج الرايش تبعاً لظروف القطع. وعلى سبيل المثال عند العمل يوجه الحد القاطع الرئيسي والثانوي للقلم خروج الرايش بشكل عامودي على الخط الواصل بين نقطة دخول وخروج الحد القاطع من المشغولة (الشكل ٣-١٨). وبالاعتماد على عناصر القلم وشكل الحد القاطع يمكن أن تتغير قيمة زاوية خروج الرايش  $\vartheta$ . في حال (زاوية الجرف الأمامية)  $\gamma = 0$  وعند استدارة رأس القلم  $r = 0$  نحسب قيمة زاوية خروج الرايش كما يلي:

$$v = \frac{\pi}{2} - \varphi - \arctg \left[ \frac{(t - \frac{s}{\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi_1})}{(t \cdot \operatorname{ctg} \varphi + \frac{s \cdot (\operatorname{tg} \varphi)}{\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi_1})} \right]$$

في حال  $r \neq 0$

$$v = \frac{\pi}{2} - \varphi - \arctg \left[ \frac{t - r_B + \sqrt{4r_B^2 + s^2}}{2} \right]$$

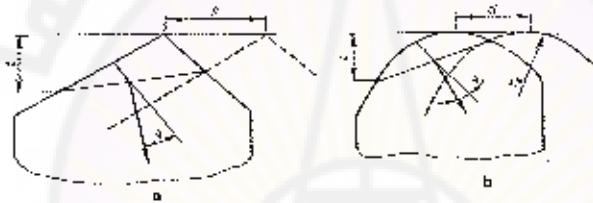
$$t \cdot ctg \varphi + r_B \cdot tg \frac{\varphi}{2} + \frac{s}{2}$$

حالة زاوية الجرف  $\gamma \neq 0$

$$v_\gamma = (\pi/2 - \varphi - v) [\cos(40 \cdot tg \gamma + tg v)]^k$$

حيث  $k = 20$  عند  $\gamma > 0$

$k = -20$  عند  $\gamma < 0$



الشكل (٣-١٨)

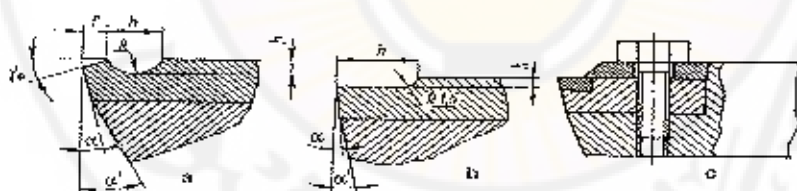
اتجاه خروج الرايش عند الحراطة

يؤثر على اتجاه خروج الرايش عند القاطع الزاوي زاوية ميل الحد القاطع  $\lambda$  والتي يميل بسببها مستوي تشكل الرايش عند وضعيته بشكل عامودي على الحد القاطع الأساسي.

يكون شكل الرايش في معظم الحالات منحنيًا، وهذا يحدث بسبب القص والتشوه المتعدد المسبب لتحول الطبقات المقطوعة إلى رايش. تتعرض هذه الطبقات دائماً إلى ضغوط غير متوافقة بالاتجاه وبشكل عامودي على السطح الأمامي لأداة القاطع.

بالنتيجة وبالاتجاهات الأخرى المتعامدة تتشكل إجهادات شد ويحصل السطح المتزلق للرايش على سرعة كبيرة.

إن شكل وأبعاد الرايش له أهمية خاصة عند التشغيل المؤتمت. عند ظروف غير جيدة يمكن أن يلتف الرايش على الأجزاء الدوارة في آلة التشغيل أو على المعدن المشغل أو على أداة القطع وهذا يؤدي إلى حدوث أعطال. عند تشغيل الثقوب بأدوات قطع محورية للمعادن الطرية يكون معامل انكماش و تجعد الرايش كبيرين وينساب الرايش في قنوات أداة القطع ويتلامس مع سطوح المعدن المشغل وهذا يؤدي إلى زيادة في خشونة السطوح المشغلة أو يؤدي إلى تلف أداة القطع أو كسرها. بذلك تظهر ضرورة التفيت القسري للرايش والذي يحقق تثبيت مكسرات الرايش أو عمل حفرة أو نتوات على السطح الأمامي لأداة القطع والذي يؤدي إلى تغير في آلية القطع. يمكن أيضاً تحقيق تفيت الرايش باختيار الشكل الهندسي لأداة القطع ونظام محدد لعملية القطع. تؤمن الحفرة والنتوات على السطح الأمامي لأداة القطع وكذلك تثبيت المكسرات (الشكل ٣-١٩) تفيت آمن للرايش.



الشكل ٣-١٩

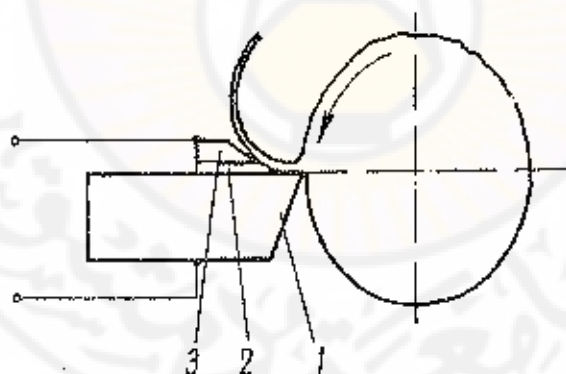
c - تثبيت المكسرات.

b - النتوات

a - الحفرة

إن الإيقافات المتكررة لعملية القطع بمساعدة تغيير حركة أداة القطع في اتجاه القطع يؤدي إلى تكسير وتفتيت الرايش عند القطع.

تؤدي جميع طرق تفتيت الرايش هذه إلى زيادة في اهتزاز أداة القطع والمشغولة، وإلى خفض جودة السطح المشغل، ولهذا فإن الطريقة الأفضل لتفتيت الرايش دون اهتزاز هي وضع أختود جيبي مستمر على سطح القطع أو تسخين الرايش بتيار كهربائي حتى الانصهار أو حرق الرايش المتشكل بتيار كهربائي نبضي بمساعدة الكترود. يبين الشكل ٣-٢٠ مبدأ عمل حرق الرايش بمساعدة التيار الكهربائي النبضي. يتوضع على أداة القطع ١ الالكترود ٣ معزول عن أداة القطع، عادة عازلة ٢. أثناء عملية القطع يكون الرايش المتشكل بتماس دائم مع الالكترود، ويؤدي التوصيل الدوري لتيار الكهربائي إلى تفريغ كهربائي في مناطق التماس وبالنسبة لاحتراق الرايش. لا تؤثر هذه الطرق على أداة القطع وعمرها وعلى جودة السطح المشغل، وتؤدي إلى خروج سلس للرايش وعدم تشكل الاهتزازات وخفض في قوة القطع المتشكلة.



الشكل (٣-٢٠)

تفتيت الرايش باستخدام التفريغ الكهربائي

١- أداة القطع

٢- مادة عازلة

٣- الكترول

تعتبر درجة تفتيت الرايش من أهم مؤشرات استقرار عملية القطع والتي يعبر عنها بالمعامل الحجمي  $K_v$  وهو نسبة حجم الرايش  $V_c$  إلى حجم طبقة المعدن المزال  $V$  أي

$$K_v = \frac{V_c}{V}$$

تحدد قيمة  $K_v$  بقياس حجم الرايش  $V_c$  بمساعدة أوعية القياس وكتلة الرايش  $m_c$ .  
ويحسب المعدن المقطوع:

$$V = \frac{m_c}{\rho}$$

حيث  $\rho$  - كثافة المعدن

مع تفتيت الرايش ينخفض المعامل الحجمي.

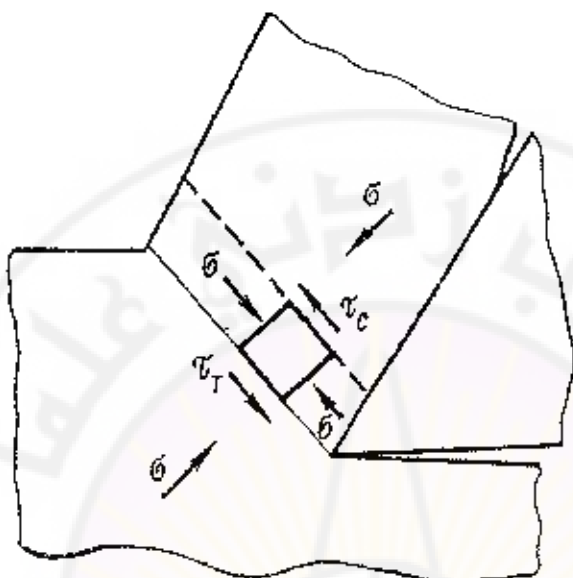
### ٣-٥- الحالات الأساسية للتشوه اللدن للمعدن في عملية القطع:

يحدد مقاومة المعدن للتشوه اللدن تركيبه الكيميائي وبنيته، وأيضاً ظروف التشوه بما فيها الحالة الاجهادية لمنطقة التشوه وسرعة التشكل والتشوه ودرجة الحرارة في منطقة التشوه.

يظهر عند شدّ المعادن لدونةً نسبية غير عالية، أي يحدث الانفعال بدرجة تشوه غير كبيرة. ولكن عند القطع تزداد نسبياً لدونة المعدن بسبب أنه في منطقة التشوه اللدن الانتقالية تقع الحجوم الجزئية للطبقة المتعرضة للقطع في ظروف ضغط هيدروستاتيكي



( ضغوط متساوية من جميع الجهات )، وبالوقت نفسه تقع تحت تأثير إجهادات مماسية (الشكل ٣-٢١). وتؤدي زيادة اللدونة إلى تسخين المعدن المتشوه عند القطع.

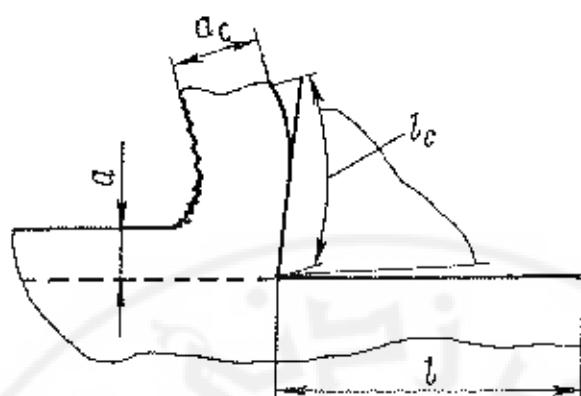


الشكل (٣-٢١)

الحالة الاجهادية في منطقة التشوه الانتقالية

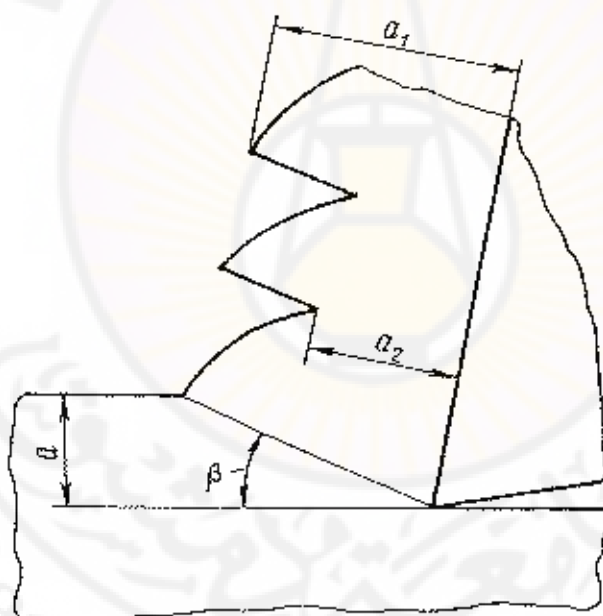
### ٣-٦- تشوه وانكماش الرايش:

يرهن على التشوه اللدن عند قطع المعدن بأن سماكة الرايش  $a$  أكبر من سماكة الطبقة المنزوعة  $a$  (الشكل ٣-٢٢)، وعرضه أكبر من عرض الطبقة المنزوعة أي  $b > b_c$ . وبما أن حجم الرايش يبقى ثابتاً لذلك يكون طول الرايش  $l$  أقل من طول شوط القلم  $l$ .



الشكل (٢٢-٣)

مخطط تحديد معامل انكماش الرايش (حالة الرايش المستمر)



الشكل (٢٣-٣)

مخطط تحديد معامل انكماش الرايش (حالة الرايش المجزأ)

ويعبر عن تغير أبعاد الطبقة المنزوعة بانكماش الرايش، ويسمى معامل انكماش الرايش

$$K_l = \frac{l}{l_c} \quad \text{معامل الانكماش}$$

$$K_a = \frac{a_c}{a} \quad \text{معامل التسميك}$$

$$K_b = \frac{b_c}{b} \quad \text{معامل التوسع (التعريض)}$$

وباعتبار أن  $K_l = \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin \beta}$  تصبح المعادلة السابقة

$$K_l = \left[ \frac{0.5 \cos(\beta - \gamma)}{\sin \beta} \right] b_c (1 + \frac{a_c}{a}) / b$$

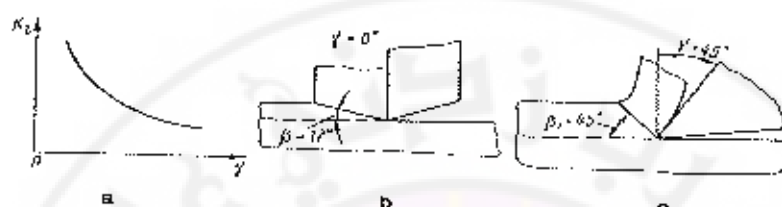
بينت التحارب أنه عندما تكون  $\gamma = 0 \dots 10^\circ$  و  $\beta > 36 \dots 40^\circ$  و  $K_l < 1$  تكون الظروف جيدة لتشغل خلاط التيتانيوم. في هذه الحالة يكون طول الرايش من الجهة المقابلة لمنطقة القطع أطول من طول الطبقة المقطوعة، ويكون  $K_l$  أقل من الواحد (0.75....0.9). تسمى هذه الحالة انكماشاً سلبياً.

تؤثر مجموعة من العوامل على معامل انكماش الرايش:

- ١- تغير زاوية الجرف  $\gamma$ : عند زيادة زاوية الجرف ينخفض معامل انكماش الرايش (الشكل ٣-٢٤-٤). يبرهن على ذلك بأنه عند زيادة زاوية الجرف ينخفض احتكاك الرايش مع السطح الأمامي لأداة القطع الذي يؤدي إلى زيادة زاوية القص  $\beta$  (الشكل ٣-٢٤-٥)، ومعلوم أنه كلما كانت الزاوية  $\beta$  أكبر كان معامل الانكماش أقل.

- ٢- استخدام سوائل التبريد تؤدي إلى خفض معامل انكماش الرايش.

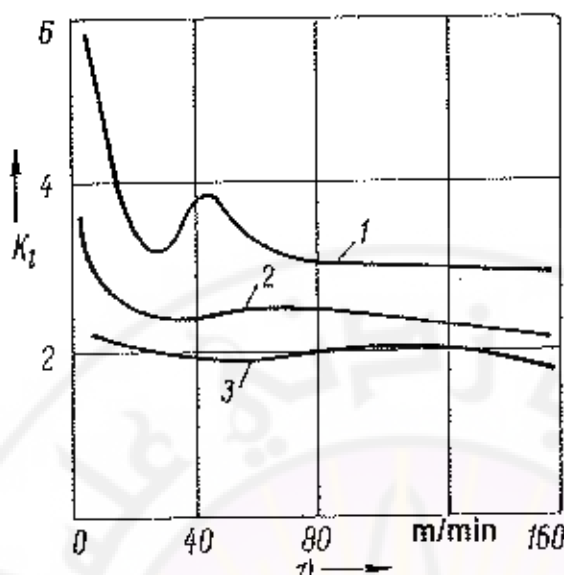
٣- تغير سماكة الرايش غير المقطوع: كلما زادت سماكة الرايش غير المقطوع  $a$  انخفض معامل الانكماش، وهذا أيضاً مرتبط بزاوية القص  $\beta$ .



الشكل (٣-٢٤)

تأثير زاوية الجرف  $\gamma$  على معامل انكماش الرايش وزاوية القص

مثال عند  $a = 0,13mm$  تكون  $\beta = 26^\circ$ ، وعند  $a = 2,65mm$  تكون  $\beta = 36^\circ$ .  
 ٤- تغير سرعة القطع: مع زيادة سرعة القطع يحدث تغير غير منتظم في معامل الانكماش. يبين الشكل ٣-٢٥ علاقة  $K_t = f(\gamma)$  عند زوايا جرف مختلفة وعند تشغيل الفولاذ St40. تفسر سمة تغير  $K_t$  عند سرعات قطع مختلفة بتغير أبعاد الحد المتراكب (انظر الفصل الرابع) يوافق الحد الأصغري لمعامل الانكماش مع الأبعاد الأعظمية للحد المتراكب.



الشكل (٣-٢٥)

علاقة  $K_t = f(v)$  مع زوايا جرف  $\gamma$  مختلفة

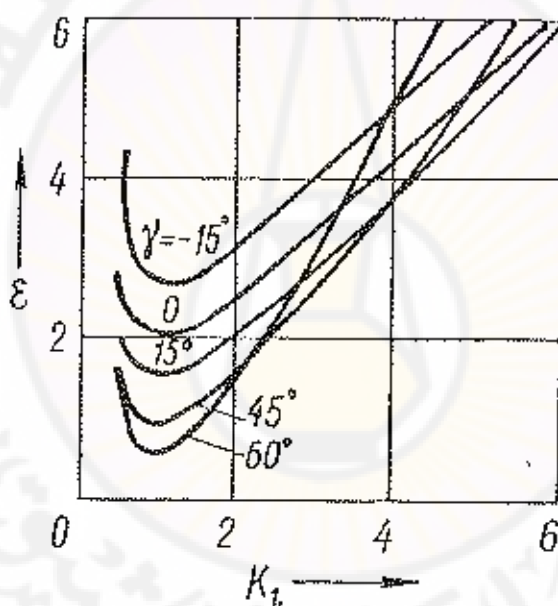
المعدن المشغل فولاذ st40

$\gamma = 30^\circ - 3$  ،  $\gamma = 15^\circ - 2$  ،  $\gamma = 0^\circ - 1$

عند سرعات قطع حوالي  $50 \text{ m/min}$  ، ويكون الحد المتراكب أعظمياً تسزداد زاوية الجرف الحقيقية  $\gamma$  ، وبالتالي ينخفض معامل الانكماش  $K_t$  . وعند سرعات قطع  $80 \dots 100 \text{ m/min}$  يختفي الحد المتراكب ، لهذا تكون قيمة المعامل  $K_t$  أعظمية . وعند الاستمرار في زيادة سرعة القطع (أكثر من  $100 \text{ m/min}$ ) ، وتحت تأثير درجات الحرارة العالية في الطبقات الحدودية للمعدن تصبح منطقة القطع طرية ، وتعمل على التزيت الصلب للمنطقة .

في هذه الحالات ينخفض بشدة معامل الاحتكاك على السطح الأمامي لأداة القطع و يترافق ذلك بانخفاض معامل انكماش الرايش.

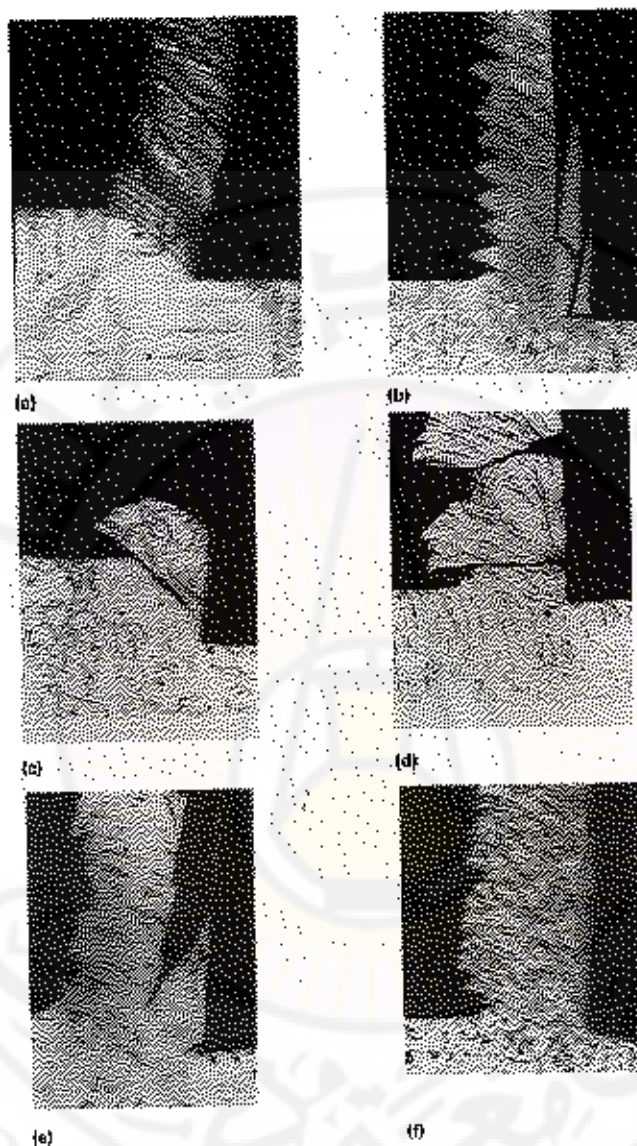
يعبر إلى حد ما معامل انكماش الرايش عن درجة تشوه المعدن المشغل. وعند حدود زوايا جرف مختلفة فإن معامل الانكماش  $K_r$  يتغير بتغير القص النسبي  $\varepsilon$  (الشكل ٣-٢٦). عند تقييم درجة تشوه الطبقة المقطوعة بمعامل الانكماش فإنه عند حالة  $K_r = 1$  يمكن القول إنه لا يوجد تشوه عند القطع وهذا غير صحيح. وحتى عند  $K_r = 1$  فإن  $\varepsilon \neq 0$ ، وهذا فإن قيمة  $K_r$  تحدد فقط الشكل الخارجي لعمليات التشوه التي تحدث في الطبقة المقطوعة.



الشكل (٣-٢٦)

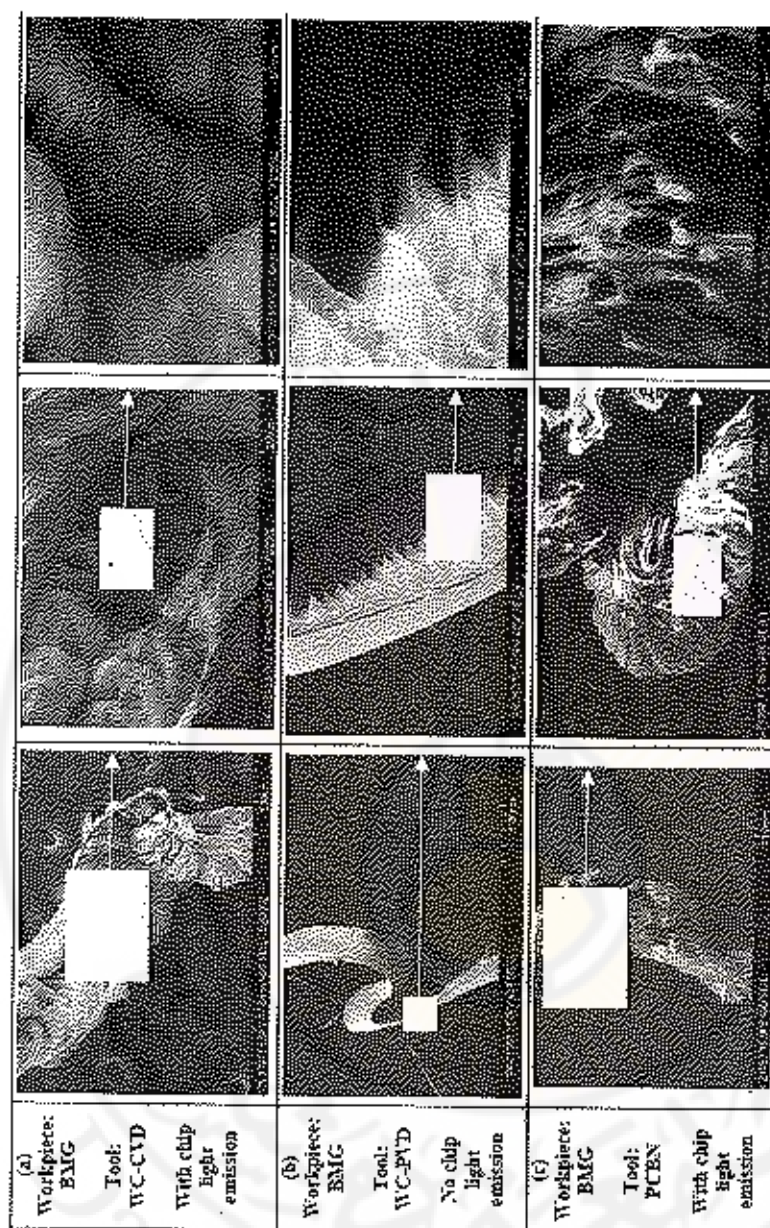
علاقة القص النسبي بمعامل الانكماش للرايش عند زوايا جرف مختلفة.

# أمثلة على تشكل الرايش وبنية المجهرية:



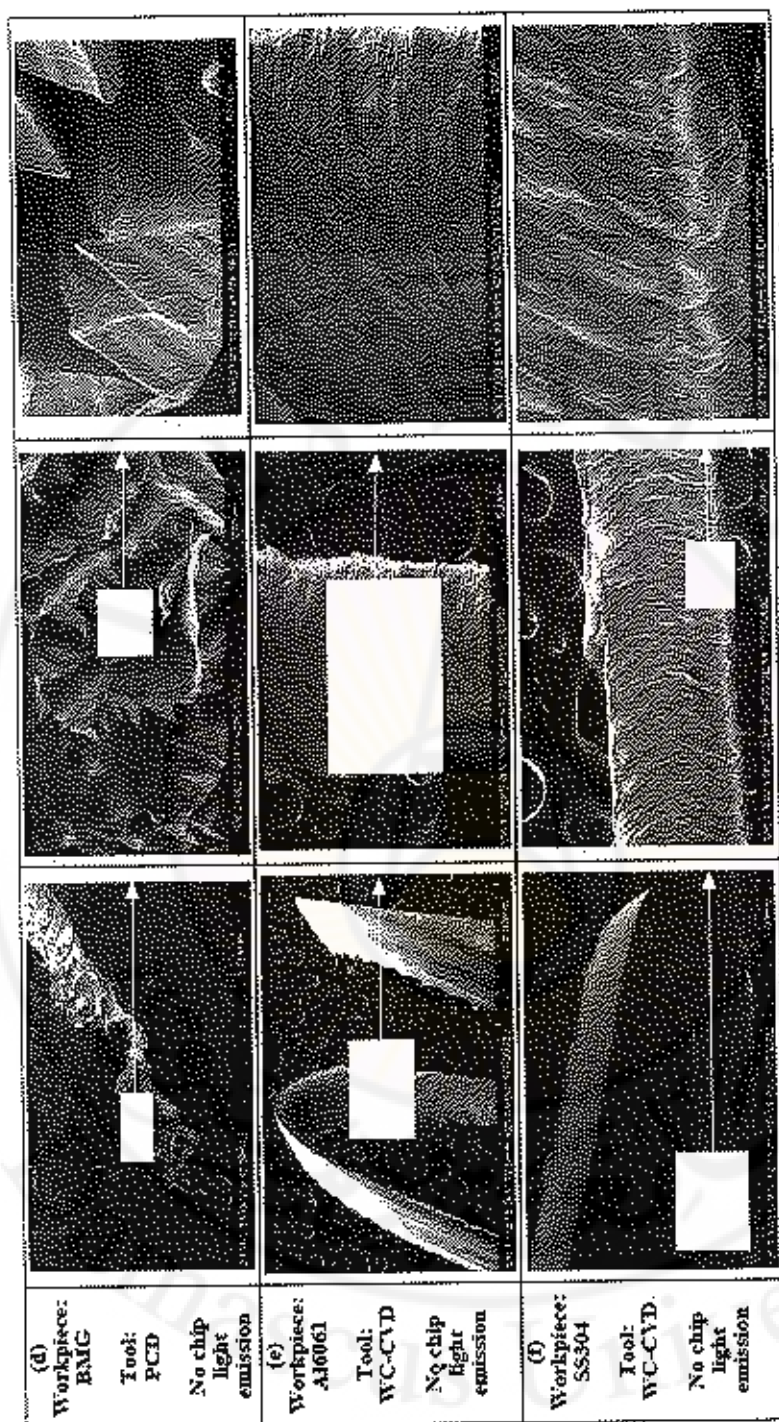
Chip sections from turning at a feed of about 0.15 mm - cutting speeds as indicated (d/min): (a) 70/30 brass (50), (b) austenitic stainless steel (30), (c) leaded brass (120), (d) mild steel (5), (e) mild steel (25), (f) mild steel (55)



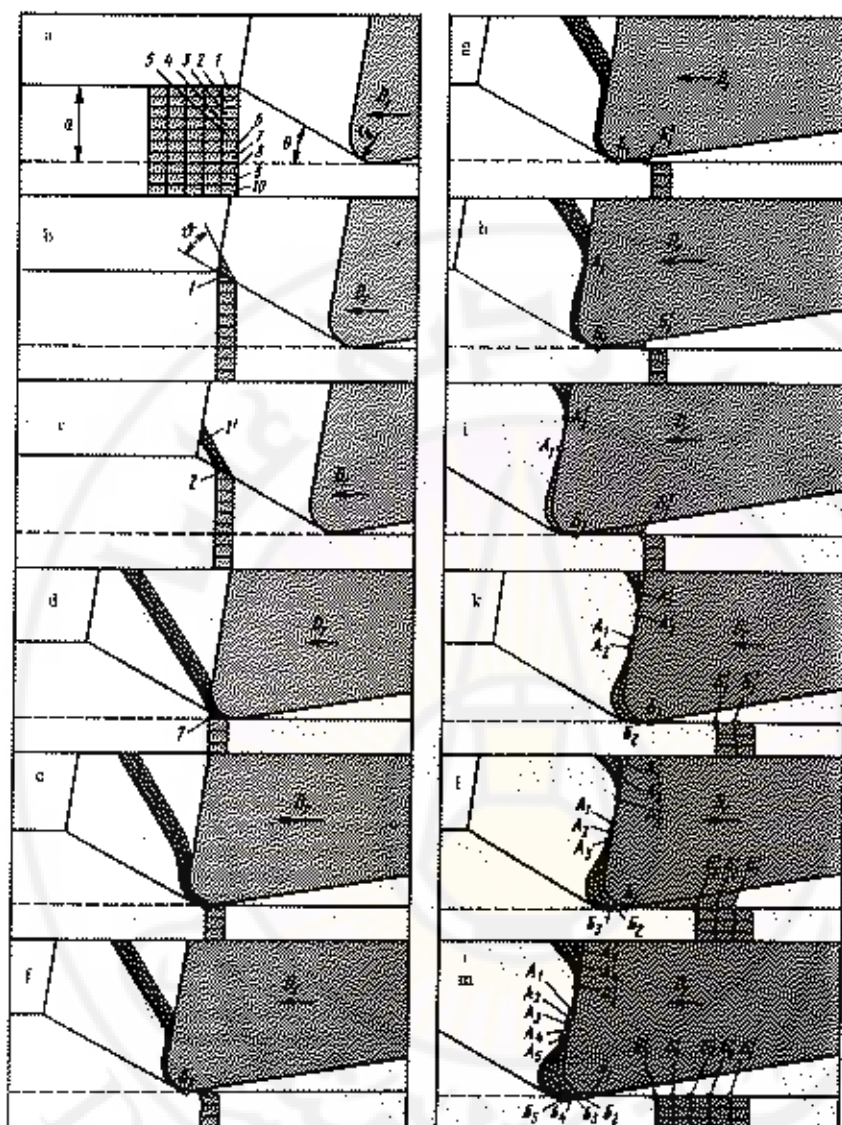


SEM micrographs of BMG, Al6061, and SS304 chips machined at 1.52 m/s cutting speed.





SEM micrographs of BMG, Al6061, and SS304 chips machined at 1.52 m/s cutting speed. (cont.)



مخطط مراحل التثوية للحدن للمعدن والرايش أثناء عملية القطع

## الفصل الرابع

### الاحتكاك وظواهر الاتصال في منطقة القطع

٤-١ - ظواهر الاتصال في عملية تشكيل الرايش

٤-٢ - الاحتكاك في مناطق الاتصال

٤-٣ - تشكيل الحد المتراكب عند قطع المعادن

٤-٤ - علاقة الظواهر في عملية تشكيل الرايش



#### ٤-١- ظواهر الاتصال في عملية تشكل الرايش:

تم في الفصل السابق التأكيد على وجود سرعات تشوه عالية أثناء عملية القطع، وهذه السرعات عملياً تصل إلى سرعات التشغيل بالتفجير. في مثل هذه الظروف تتغير فجأة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمادة، ويرتفع عدد مستويات الانزلاق، وتتغير النسبة بين حد الانسياب والمقاومة، ويرتفع النشاط الكيميائي للمادة.

بينت نتائج الاختبارات أنه فقط وبسبب تشكل سطح جديد في حدود مساحة الاتصال بين الرايش والسطح الأمامي للحد القاطع يظهر في الثانية تقريباً  $10^{15}$  منطقة اتصال حرة. ورغم أن استمرارية هذه الحالة لا تتجاوز  $10^{-12}$  sec إلا أن هناك وقتاً كافياً ليتشكل على السطح الأمامي للحد القاطع طبقة حدودية. تنشأ هذه الطبقة الرقيقة بسبب عملية جمود (اتصال) مادتين مختلفتين، وترافقه مع ظاهري الالتصاق والانتشار. وبظروف تأثير الوسط الخارجي ينضم إلى هذه الظواهر ظاهرة الامتزاج (وهي امتصاص الطبقة السطحية للجسم الصلب جسيمات من وسط غازي أو سائلي) وتفاعلات كيميائية حدثت عند قطع السطح واتصاله بالوسط الخارجي. بناءً على ذلك فإن سطح الحد القاطع والرايش غير أملس، ويحتوي على تضاريس ميكروية وشقوق تتلامس في نقاط محددة من مناطق الاتصال. تكون هذه النقاط عبارة عن مراكز التأثير بين المعدن المشغل ومعدن العدة وذات طاقة حرة عالية، وهنا حصراً تبدأ عملية تشكل الطبقة الحدودية.

تتألف الطبقة الحدودية من عدة طبقات انتقالية ومتتالية بين سطح العدة والمعدن المشغل، ويلاحظ في حدود الطبقة الانتقالية وجود عدد كبير من المسامات (فراغات) متشكلة بين حبيبات معدن العدة المتقدم ودخل المعدن المشغل المتشوه. تشوه الطبقة الحدودية نتيجة تأثير ظاهرة الانتقال - انتقال معدن على سطح آخر بالتأثير المتبادل بين



الأطوار الصلبة. الانتقال - ظاهرة طارئة معقدة تظهر على مستويات ماكروية وميكروية ونانومترية.

ويتصف سطح الاتصال بتضاريس غير متجانسة نتيجة :

١- تأثير سرعات جمود مختلفة والخيار المسامات في معدن العدة والمعدن المشغل في مناطق اتصال مختلفة.

٢- تحولات طورية متعلقة بتأثير هذه المسامات فيما بينها ومع الوسط المحيط.

٣- وجود نسيج بنوي.

٤- تشكل بنية ميكروية.

#### ٤-٢- الاحتكاك في مناطق الاتصال:

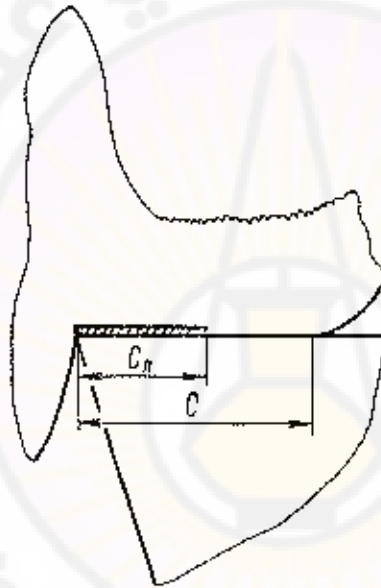
إن الصفات الأساسية للاحتكاك عند القطع هي الحالة الفيزيائية والميكانيكية للمسطوح المتصلة؛ والجمود الشديد لمعدن العدة والمعدن المشغل؛ التوزيع المعقد للإجهادات على ساحة الاتصال؛ المدة القصيرة لاستمرارية الاتصال بين العدة والرايش وتشكل مناطق اتصال جديدة.

تتألف مساحة الاحتكاك على السطح الأمامي للعدة (وجه القلم) عرضه  $C$  من مناطق اتصال لدنة عرضها  $C_p$  ومناطق اتصال مرنة (الشكل ٤-١). يتحرك الرايش في المنطقة  $C_p$  وفق طبقة كائجة، وتحدد مقاومة تحرك الرايش بمقاومة القص في مناطق الرايش. بهذا فإن الاحتكاك الخارجي الانزلاقي يختفي ويستبدل باحتكاك داخلي بين طبقات الرايش المختلفة. يحدد الاحتكاك الخارجي الانزلاقي ومقاومة تحرك الرايش في المنطقة خارج  $C_p$  بقوة الاحتكاك بين الرايش والسطح الأمامي للعدة (وجه القلم). ويعتمد عرض مساحة الاتصال على زاوية الجرف  $\gamma$  سمك الرايش اللامشوه ومعامل زيادة

عرض الريش  $K_a$  وسرعة القطع (الشكل ٤-٢). ويُحدد عرض مساحة الاتصال بالعلاقة :

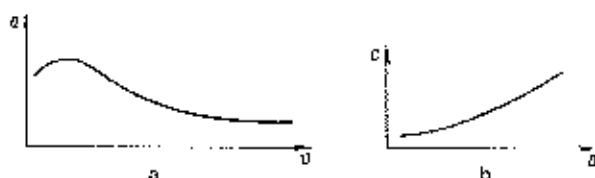
$$C = aK_a^{0.1} [K_a (1 - \lg \gamma) + \sec \gamma]$$

حيث تظهر هذه المعادلة أن قيمة  $C$  ترتفع بزيادة  $K_a$  و  $a$ ، وتنخفض قيمة  $C$  بزيادة الزاوية  $\gamma$ . عند زيادة  $\lambda$  ينخفض أيضاً عرض منطقة الاتصال اللدن. وعند تشغيل المواد الإنشائية تكون نسبة  $C_p/C$  في حدود 0,5 ولا تتجاوز عادةً 0,7.



الشكل (٤-١)

منطقة الاحتكاك على السطح الأمامي للعدة



الشكل (٤-٢)

علاقة عرض مساحة الاتصال بـ

(a) سرعة القاطع

(b) سمك الرايش

تؤثر الصفة المعقدة لمنطقة الاتصال على توزيع إجهادات التلامس. ومعروف في الوقت الحالي ثلاث حالات من توزيع الإجهادات (الشكل ٤-٣). إذا تم اعتبار أن الإجهادات الناعمة تتغير وفق قانون المثلث، فإن عرض مساحة الاتصال يمكن حسابه من المعادلة

$$C = \frac{2a \cos v}{[tg(\beta + v - \gamma) \sin \beta \cos(\beta - \gamma)]}$$

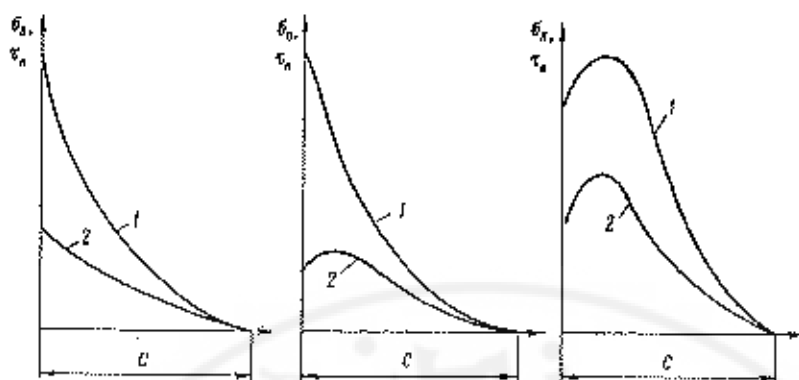
حيث:  $v$  - زاوية الاحتكاك على وجه القلم.

وبهذا فإن  $C$  تنخفض مع زيادة زاوية القص وزاوية الاحتكاك.

يمكن حساب طول مساحة الاتصال بين الحد القاطع ومستوى القاطع بدون اعتبار الحد المقاطع الثانوي من المعادلة:

$$b = \left\{ t - 2r \sin^2(\varphi/4) \right\} / \sin \varphi + \pi \cdot \varphi / 180$$





الشكل (٣-٤)

توزيع الإجهادات الناعظمية (1) والمماسية (2) على مساحة اتصال الرايش مع وجه القلم

يسم تحديد القوة الناعظمية الوسطية  $N_n$  وقوى الاحتكاك  $F_n$  بمحصلة الإجهادات الناعظمية والمماسية في المساحة الأمامية للاتصال (الشكل ٤-٤). عند القطع الحر بقلم  $\lambda = 0$  يمكن تحديد القوى  $F_n$  و  $N_n$  بالقياس الأولي لقوى  $P'_z$  و  $P'_y$ ، المؤثرة على الطبقة المقطوعة. ننوه أن القوى  $P'_z$  تنطبق على شعاع سرعة القطع، أما  $P'_y$  فهي عامودية عليه.

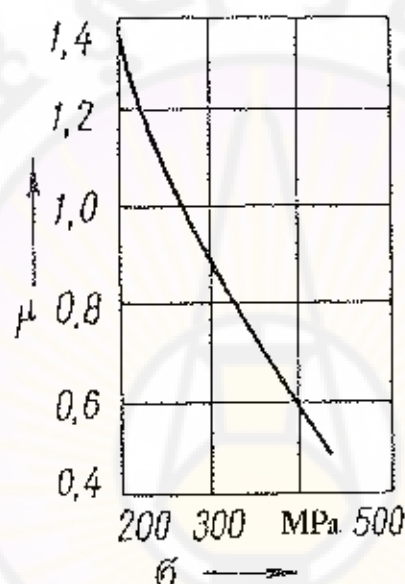
تصنع محصلة المؤثرة  $P'_z$  و  $P'_y$  مع مستوي القطع زاوية  $\omega = \arctg p'_y / p'_z$ ، وعندها يتم حساب القوة الناعظمية وقوة الاحتكاك من المعادلة:

$$N_n = P'_z \cos(\omega + \gamma) / \cos \omega$$

$$F_n = P'_z \sin(\omega + \gamma) / \cos \omega$$



طبقات مقطعه العرضي. تتوقف حركة الطبقات الحدودية بينما تكون الحركة في الاتجاه الطولي نتيجة الإزاحات الداخلية. هذه الإزاحات هي عبارة عن تشوهات لدنة داخلية للرأيش، وتترافق معها تقسية الطبقات المشوهة ابتداءً من الطبقات القريبة من سطح الرأيش الملاصق للقلم. وعند وصول قوى المقاومة حد التشوهات الناتجة عن الإزاحات في كل طبقة إلى مستوى قوى الجمود بين القلم و سطح الرأيش المقابل له، فإن الرأيش بشكل كامل سوف يترلق على وجه القلم.



الشكل (٤-٥)

تأثير الإجهادات الناعمية على معامل الاحتكاك

يؤثر على معامل الاحتكاك الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية للمعدن المشغل وزاوية الجرف  $\gamma$  وسماكة الرأيش المقطوع  $a$  وسرعة القطع  $v$  واستخدام سوائل التبريد.

عند احتكاك الرايش مع وجه القلم فإن معامل الاحتكاك يكون سبباً في التأثير الالتصاقي بين معدن القلم والمعدن المشغل. يحدد ظهور اتصال بين السرايش والقلم إمكانية تشكل ربط كيميائي بينهما ومحاليل صلبة. وكلما كان هذا الاتصال الناشئ نتيجة قوى الربط بين الرايش والقلم قوياً كان معامل الاحتكاك كبيراً. مع دفع الخواص الميكانيكية للمعدن المشغل ينخفض معامل الاحتكاك، ولكن هذا ترتفع قيمة الإجهادات الناعمية والمماسية. وإذا كان تغيير درجة حرارة القطع قليلاً فإن معامل الاحتكاك عملياً لا يتغير.

يتشكل على سطح الاتصال بين العدة والرايش وتحت تأثير الأوكسجين الموجود في الهواء طبقة أكاسيد تمنع جهود المعدن وينخفض معامل الاحتكاك. تلاحظ أكبر قيمة لمعامل الاحتكاك عند استخدام فولاذ السرعات العالية للقطع، وبعده الحلاتط القاسية المولدة من الكريجات.

تؤثر بشكل كبير سوائل التبريد على معامل الاحتكاك وخاصة عند تأثير تزييت جيد. في حالة استخدام سوائل تبريد فإن قيم  $\gamma$  و  $\mu$  تقريباً لا تؤثر على معامل الاحتكاك. أما إذا تم القطع بدون استخدام سوائل التبريد فإنه عند زيادة زاوية الجرف  $\gamma$  وسمك الريش المقطوع ينخفض معامل الاحتكاك، وبالتالي تزداد قيمة الإجهادات الناعمية على وجه القلم.

نميز عند استخدام سوائل التبريد حالتين من تلامس الرايش مع وجه القلم. إذا كوّن سائل التبريد على سطح التلامس طبقة من السائل تمنع ظهور طبقة الكبح فإنه يلاحظ على سطح الاتصال احتكاك اتصالي خارجي، يتبع قانون امونتون- كولون. تتناسب عند الاحتكاك الخارجي الإجهادات المماسية الوسطية مع الإجهادات الناعمية الوسطية وفق  $\bar{\sigma} = k\bar{\sigma}$ ، ولهذا فإن معامل الاحتكاك  $\mu$  لا يتعلق بـ  $\bar{\sigma}$  ويكون ثابتاً لزوج

الاحتكاك. وتحديدًا لهذا فإن قيمة معامل الاحتكاك  $\mu$  في هذه الحالة لا تعتمد على زاوية الجرف  $\gamma$  وسلك الريش المقطوع  $a$ .

يختلف الاحتكاك الخارجي إذا تشكل على سطح الاتصال بين الريش ووجه القلم طبقة كبح، وسوف يعبر معامل الاحتكاك عن التشوه اللدن الذي يحدث في طبقة الريش الملامسة. وتحدد مقاومة حركة الريش في هذه الحالة بالإجهادات المماسية في طبقة الكبح والتي تساوي أو تتناسب مع حد السيولة على القص لمعدن الريش. يكون تغير الإجهادات المماسية في منطقة الاتصال اللدن غير كبير، ويحسب معامل الاحتكاك الوسطي من المعادلة:

$$\mu = B/\bar{\sigma}_n$$

حيث  $B$  - ثابت.

من هنا يتضح أنه مع زيادة قيمة الإجهادات الناعمة ينخفض معامل الاحتكاك. ويلاحظ عادة عند القطع اتصال مختلط - مرن ولدن، وهذه الحالة تبقى العلاقة بين  $\mu$  و  $\bar{\sigma}_n$  بدون تغيير، ولكن  $\bar{\sigma}_n$  تؤثر على  $\mu$  بشكل كبير فقط في حالة الاتصال اللدن. يمكن بدقة أكثر وصف الاحتكاك عند القطع بالعلاقة التالية:

$$F = \mu_0 N + \mu_0 N_0$$

حيث  $\mu_0 N_0 = F_0$  قوة الاحتكاك الناتجة عن قوى الالتحام (التلاصق) بين السسطوح المحتكة التي تعتمد ظروف القطع،

$\mu_0$  - معامل الاحتكاك الحقيقي والذي يعتمد على الحجم الحبيبي للسطح (معامل الاحتكاك على الانزلاق)؛

$N$  - القوى الناعمة، ويساوي معامل الاحتكاك الوسطي عند القطع نسبة قوة الاحتكاك الوسطية إلى القوة الناعمة الوسطية. أي:

$$\mu = \mu_0 + (F_0/N)$$

٢.

ولأن  $N = \bar{\sigma}_n c l$  و  $F_u = \bar{\tau}_n c l$  فإن

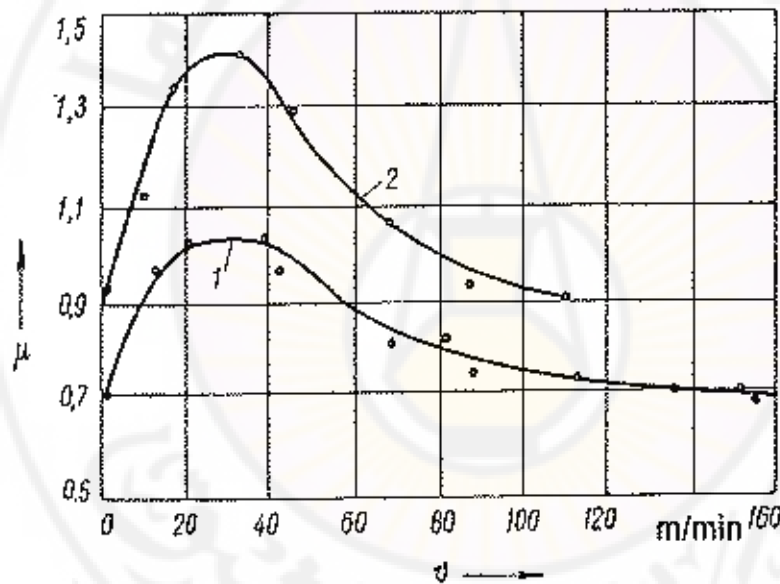
$$\mu = \mu_0 + (\bar{\tau}_n / \bar{\sigma}_n)$$

تسمى العلاقة بين الإجهادات الوسطية والمماسية والناظرية بمعامل الاحتكاك الوسطي لمنطقة الالتحام أي  $\bar{\tau}_n / \bar{\sigma}_n = \mu_a$  وعندها:

$$\mu = \mu_0 + \mu_a$$

حيث  $\mu_0$  - الجزء الثابت والميكانيكي من المعامل  $\mu$

$\mu_a$  - الجزء المتغير من المعامل  $\mu$  والمتعلق بالالتحام.



الشكل (٤-٦)

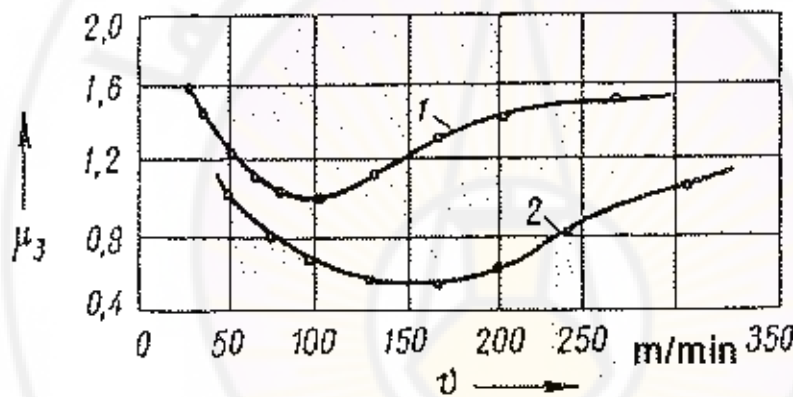
تأثير سرعة القطع على معامل الاحتكاك على السطح الأمامي عند قطع فولاذ 30C<sub>8</sub>

1, ( $\delta_1 = 20^\circ$ ) و  $a = 0,149mm$

2, ( $\delta_2 = 40^\circ$ )

ويتغير المعامل  $\mu$  من خلال الجزء  $\mu_0$  وفق عوامل القطع مثل عمق القطع وزاوية الجرف وسرعة القطع (الشكل ٤-٦). وتقل من قيمة معامل الاحتكاك الوسطي كل العوامل التي تؤدي إلى إنقاص حالة الالتحام مثل استخدام سوائل التبريد. ويختفي عند استخدام سوائل تبريد عالية الفعالية التأثير الالتحامي بين الرايش وأداة القطع أي  $\mu_0 = 0$ . ويصبح معامل الاحتكاك ثابتا لا يتعلق بعوامل القطع.

يمكن بالتحليل نفسه دراسة الناحية الفيزيائية لمعامل الاحتكاك على السطح الخلفي لقلم القطع. وتؤثر حالة الالتحام على معامل الاحتكاك وعلاقته بعوامل القطع (الشكل ٤-٧).



الشكل (٤-٧)

تأثير سرعة القطع على معامل الاحتكاك للسطح الخلفي للقلم

المعدن المشغل: فولاذ  $C, 18N10T$

$s = 0,2 \text{ mm/rpm}$  ،  $t = 0,5 \text{ mm}$

١- مادة أداة القطع من WC8

٢- مادة أداة القطع من خليطه TSC10

### ٤-٣- تشكيل الحد المتراكب عند قطع المعادن:

تظهر عند قطع كثير من المعادن وعند ظروف معينة حالة تسمى بتشكيل الحد المتراكب. ويتألف الحد المتراكب الإسفيني الشكل من جزء من المعدن المشغل وملتحم بالقلم عند الحد القاطع (الشكل ٤-٨). يتألف الحد المتراكب من طبقات عالية التشوه من المعدن المشغل وشوائب من أكاسيد وكربيدات المعدن المشغل ومادة القلم. شكل الحد المتراكب معقد ويتألف الجزء الأساسي من جسم إسفيني متصل بشكل متين مع سطح القلم والذي تمتد عليه طبقة الرايش؛ أما بقية أجزاء الحد المتراكب فتتوضع على سطح القلم، وهي من تركيبة الجسم الإسفيني نفسه وتكون منطقة الركود.



الشكل (٤-٨)

تشكيل الحد المتراكب على قلم قطع من فولاذ السرعات العالية  
عند قطع الألمنيوم

يؤدي الجزء الأساسي من الحد المتراكب بعد تشكيله عمل السطح الأمامي لقلم القطع. ونتيجة لذلك تقل منطقة التلامس بين الرايش والسطح الأمامي، أي ينحسر السطح الأمامي للقلم. ونتيجة تأثير انحسار السطح الأمامي لقلم القطع على الطبقة المقطوعة



في منطقة التشوه اللدن الانتقالية يحدث تشوه لدن حجمي، ويتشوه المعدن ليس فقط على مستوى تشكل الرايش بل وعلى طول الحد القاطع. ويبين التحليل البنيوي لمنطقة الركود أن بنيتها هي على شكل طبقات متساوية تقترب من حيث الشكل إلى شكل قطع ناقص، وكل طبقة تتصل مع سطح القلم.

يمكن تصور عملية شكل الحد المتراكب كالتالي: عند درجات حرارة محددة وضغط عالٍ في منطقة القطع فإن جزيئات من سطح الرايش وسطح القلم تتعرض إلى عملية التحام - يحدث اتصال متين في منطقة التلامس بين الرايش والسطح الأمامي للقلم وتشكل طبقة ملتحمة. وتسمح انسيابية طبقة الرايش هذه بظهور طبقات ملتحمة جديدة من المعدن التي تتوضع بعضها على بعض إلى أن يصل الحد المتراكب إلى الأبعاد العظمى الممكنة لهذه الظروف؛ ونتيجة خشونة سطح الطبقات الملتحمة المتشكلة تنهياً ظروف جيدة لتفاعل الأوكسجين الموجود في الهواء مع طبقات المعدن المشوه، وتنشأ طبقات رقيقة من الأكاسيد.

تخفض الطبقات الرقيقة الأوكسيدية من الاحتكاك بين الرايش وسطح الحد المتراكب، وتصبح كل طبقة من طبقات اللحام أقصر من الطبقة التي قبلها، وهذا يؤدي إلى تشكل الحد المتراكب على شكل إسفيني. وعند الوصول إلى ارتفاع محدد له تصبح متانته غير كافية وينهار الحد المتراكب. ويكون سبب الانهيار أنه تظهر بين الحد المتراكب والرايش وسطح القلم فجوات تؤدي إلى إضعاف تماسك الحد المتراكب مع القلم.

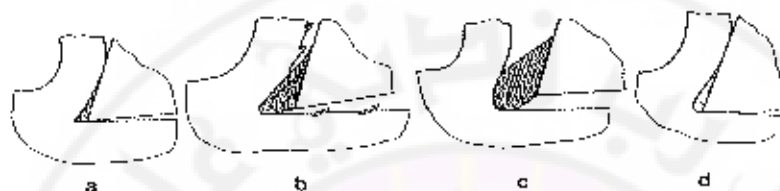
تنقل أجزاء الحد المتراكب المدمر عن طريق الرايش وجزئياً على سطح المعدن المشغل. وبسبب أن الرايش المشكل يزلق ليس على قمة الحد القاطع وإنما على السطح الأمامي للحد المتراكب، فإن زاوية الجرف الأمامي لا تزداد وتصبح عملية القلع أسهل. نتيجة القساوة العالية للحد المتراكب يقوم الحد المتراكب بدور الحد القاطع،

ويجنب السطح الأمامي والخلفي للقلم من التماس مع الرايش، وتنخفض درجة حرارة القلم. ويزيح مركز ضغط الرايش إلى نقطة تقع خلف الحد القاطع، وهذا يؤدي إلى خفض اهتزاز القلم أي رفع مدة خدمته ووثوقيته. يزيد وجود الحد المتراكب مسن خشونة السطح المشغل نتيجة انهيار الحد المتراكب ووجود أجزائه في الرايش وعلى سطح المعدن المشغل.

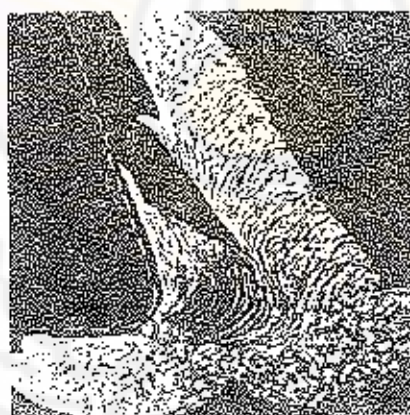
تعتمد أبعاد الحد المتراكب على نسب قوى الاحتكاك بين الرايش المتشكل والسطح الأمامي للقلم وقوى تماسك المعدن المشغل ومادة القلم: فكلما كانت قوى الاحتكاك أكبر من قوى التماسك يكون حجم الحد المتراكب أكبر. إن الحد المتراكب غير مستقر وغير منتظم على مدى الحد القاطع، وفي كل نقطة من الحد القاطع يظهر الحد المتراكب ويزداد إلى الحد الأعظمي في الارتفاع ثم ينهار جزئياً أو كلياً. كما يجب عدم الخلط بين الحد المتراكب والجزئيات المتصقة على السطح الأمامي للقلم هي عبارة عن جزئيات من الرايش متطاولة يصل طولها إلى  $10\mu m$  وارتفاعها  $3...5\mu m$  وعرضها  $5...10\mu m$  تلتصق على سطح القلم وتكون بنيتها موافقة لبنية المعدن المشغل. يوجد الحد المتراكب بأشكال مختلفة. يتشكل من سرعات قطع منخفضة نسبياً حد متراكب من النوع الأول (الشكل ٤-٩-١). له شكل قريب من المثلث قليل الارتفاع ونصف قطر استدارة رأسه صغير. تكون الزاوية الخلفية للحد المتراكب قريبة من الصفر، وبهذا فإنه لا يتقدم على السطح الخلفي للقلم، أما الزاوية الأمامية للحد المتراكب فهي كبيرة. نتيجة لذلك يتلامس الرايش المقطوع مع السطح الأمامي للقلم خلف الحد المتراكب، وتكون بنية الحد المتراكب عبارة عن طبقات موازية تقريباً للسطح الأمامي للقلم.

يتشكل عند سرعات قطع مرتفعة الحد المتراكب من النوع الثاني (الشكل ٤-٩-٢) (الشكل ٤-١٠) ذو ارتفاع كبير مع زوايا أمامية وخلفية كبيرة تصل إلى  $120^\circ...5$ .

ويتلامس دائماً الرايش مع السطح الأمامي للحد المتراكب. إن أساس الحد المتراكب المتلامس مع السطح الأمامي يكون مستقراً أما الجزء العلوي منه فينهار بشكل متكرر وينتقل مع الرايش أو على سطح القلم. ويلاحظ على سطح الرايش الملامس للقلم ظهور منطقة تشوه ثانوي.



الشكل (٩-٤)  
أشكال الحد المتراكب



الشكل (١٠-٤)  
الحد المتراكب من النوع الثاني  
(المعدن المشغل فولاذ متوسط الكربون)

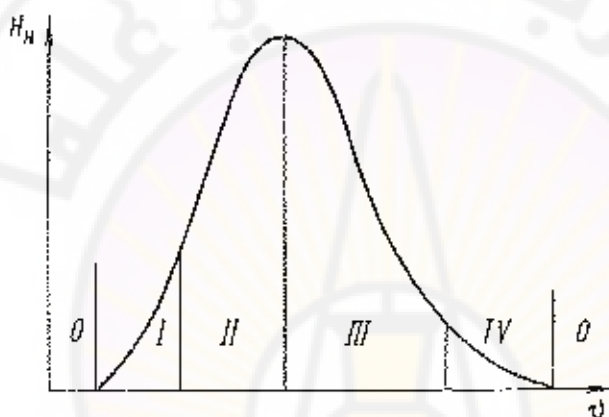
مع الاستمرار في زيادة سرعة القطع يتشكل حد متراكب من النوع الثالث (الشكل ٤-٩-٥). يصبح شكل الحد المتراكب مستطيلاً أو قريباً من شبه منحرف له ارتفاع كبير. وتكون زاوية الجرف الفعلية للحد القاطع غالباً غير كبيرة، وتصل أحياناً إلى الصفر ( $\gamma = 5 \dots 15^\circ$ ). ويقوم الحد المتراكب بدور السطح الخلفي للقلم ويحميه من التلامس المباشر مع سطح القطع، وعملياً يكون الحد المتراكب هذا عبارة عن أداة قطع مختصرة السطح الأمامي. تنشأ تحت قمة الحد المتراكب منطقة الركود، وعلى الرايش يلاحظ تشوه ثانوي (إضافي). فيكون الحد المتراكب من هذا النوع أكثر استقرارية، ويحدث انهياره إما بانفصال جزئيات كبيرة منه أو بالهيار كامل للحد المتراكب.

عند سرعات قطع عالية جداً يتشكل حد متراكب من النوع الرابع (الشكل ٤-٩-٦) له شكل وتوضع قريب من النوع الأول. وبسبب الارتفاع الصغير للحد المتراكب وزاوية جرف كبيرة فإن الرايش يلامس بشكل كامل السطح الأمامي للقلم، ولكن على مسافة بعيدة عن الحد القاطع. قوام هذا النوع من الحد المتراكب ضعيف نتيجة التشكل غير المستقر والتغير الدائم بالحجم. يحدث انهيار الحد المتراكب نتيجة "انسيابية" دائمة مع الحد القاطع، وهذا فإن الحد المتراكب ينحل على سطح القلم وسطح الرايش.

تظهر الأنواع المختلفة من الحد المتراكب عند تشغيل الفولاذ والحديد الصلب، وعند عوامل قطع مختلفة تؤدي إلى ظروف احتكاك مختلفة على سطوح التلامس. تعتمد قوة الاحتكاك على درجة الحرارة في منطقة تشكل الرايش، أي درجة الحرارة السلي تحدد بسرعة القطع. ولهذا فإن درجة حرارة القطع هي السبب الرئيسي في تغير ظروف تشكل الحد المتراكب وتعلقه بسرعة القطع. يتعلق معامل احتكاك الرايش مع السطح الأمامي للقلم بسرعة القطع. عند سرعات قطع منخفضة تكون درجة الحرارة

في منطقة القطع غير كبيرة، ومعامل الاحتكاك غير كبير نسبياً، لهذا فإن الحد المتراكب هنا لا يظهر أو يكون صغيراً جداً (الشكل ١١-٤).

وعند زيادة سرعة القطع ترتفع درجة الحرارة، وبالتالي معامل احتكاك الرايش مع السطح الأمامي ويصبح أعظمياً عند درجة حرارة محددة. ويكون في هذه الحالة الحد المتراكب أكبر. مع الاستمرار في زيادة سرعة القطع ودرجة الحرارة في منطقة القطع تصبح طبقات المعدن الحدودية أطرى، وينخفض معامل الاحتكاك، وتنخفض أبعاد الحد المتراكب.



الشكل (١١-٤)

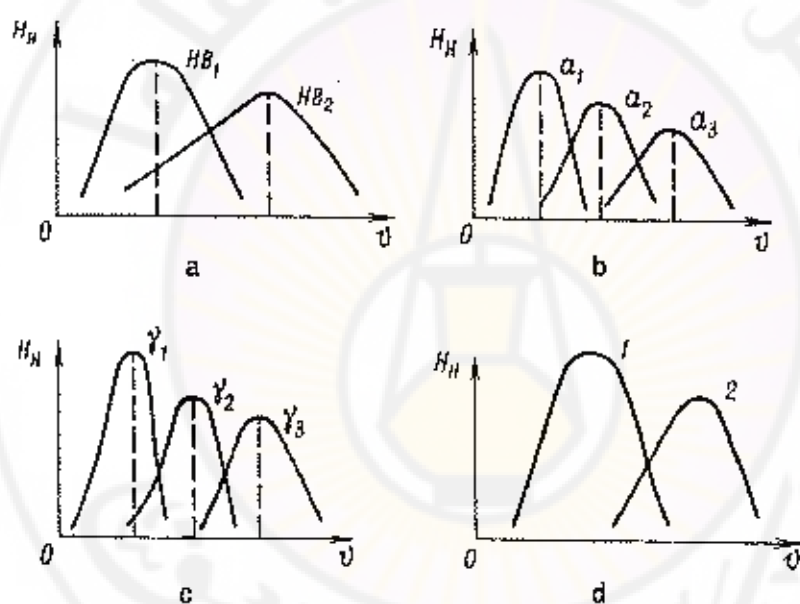
علاقة ارتفاع الحد المتراكب بسرعة القطع

٥- عدم وجود حد متراكب

I → IV تشكل حد متراكب من أنواع مختلفة

تؤثر أيضاً الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمعدن المشغل على ارتفاع الحد المتراكب وكذلك عمق القطع وزاوية الجرف ووجود سوائل التبريد وغيرها (الشكل ١٢-٤). كلما قلت لدونة المعدن (المنحني  $HB_2$  الشكل ١٢-٤-١)، وقلت سماكة الرايش المقطوع ( $a_1 > a_2 > a_3$  الشكل ١٢-٤-٢) وزادت زاوية الجرف (

الشكل (٤-١٢-٤)  $\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3$  المنخفض ارتفاع الحد المتراكب. ويفسر ذلك نتيجة ظروف احتكاك الرايش مع السطح الأمامي للقلم ودرجة الحرارة في منطقة القطع. كلما زادت سرعة القطع  $v$  ارتفعت درجة الحرارة في منطقة القطع  $\theta$ . إن العوامل التي تؤدي إلى زيادة درجة حرارة القطع تسودي إلى إزاحة المنحنيات إلى اليسار. وبالعكس فإن العوامل التي تؤدي إلى خفض الاحتكاك تؤدي إلى خفض درجة حرارة منطقة القطع  $\theta$ ، وبالتالي خفض ارتفاع الحد المتراكب، وتزاح المنحنيات إلى اليمين (الشكل ٤-١٢-٤ c, d).



الشكل (٤-١٢) (٤-١٢-٤)

تأثير عوامل القطع على ارتفاع الحد المتراكب

مع استخدام سسوائل التبريد (الشكل ٤-١٢-٤ d) فإن منحنى العلاقة  $H = f(v)$  يتحرك من الوضعية 1 إلى الوضعية 2. وبهذا عند تشغيل معسدن محدد

واستخدام سوائيل تبريد فإن أبعاد وشكل الحد المتراكب تحدد فقط بدرجة حرارة السطح الأمامي للقلم. تؤثر كل من سرعة القطع وبماكة الرايش المقطوع وزاوية الجرف على الحد المتراكب بقدر ما تؤثر على درجة حرارة القطع. تتشابه بشكل كامل علاقة تغير أبعاد الحد المتراكب بعلاقة تغير ارتفاعات الخشونة للسطح المشغل بسرعة القطع. ولهذا يؤثر الحد المتراكب على خشونة السطح، فعند انهيار الحد المتراكب يبقى على السطح المشغل، وتزداد خشونة السطح (الشكل ٤-١٢).



الشكل (٤-١٣)

دور الحد المتراكب في خشونة السطح

يمكن تقسيم كل المعادن المشغلة إلى مجموعتين: مجموعة لا تميل إلى تشكيل الحد المتراكب، ومجموعة تميل إلى تشكيل الحد المتراكب. ينضم إلى المجموعة الأولى (التي لا تشكل الحد المتراكب) كل من النحاس وخلائطه ومعظم خلائط التيتانيوم والحديد الصب الأبيض والفولاذ المقسى والفولاذ المتضمن نسباً كبيرة من الكروم والنيكل. أما وينتمي إلى المجموعة الثانية (التي تميل إلى تشكيل الحد المتراكب) الحديد الصب الرمادي وخلائط الألمنيوم والفولاذ الكربوني ومعظم أنواع الفولاذ الخلائطي. عند تشغيل هذه المعادن ولخفض خشونة السطوح المشغلة من الضروري حدوث ما يلي:

- ١- العمل في حدود سرعات القطع التي لا يتشكل عندها الحد المتراكب على سبيل المثال : حدود سرعات منخفضة جداً. ويمكن العمل عند سرعات القطع العالية عندما لا يستقر الحد المتراكب المتشكل على الحد القاطع للأداة.
- ٢- خفض خشونة السطح الأمامي لأداة القطع باستخدام الصقل عند إعادة حليخ الأداة.

٣- تغيير التركيب الكيميائي والخواص الفيزيائية للطبقة السطحية لمنطقة التلامس لأداة المقطع بترسيب أقلام رقيقة أو إشابة ميكروية.

- ٤- زيادة زاوية الجرف  $\gamma$  (عند الإمكانية)، حيث عند زاوية  $\gamma = 45^\circ$  لا يتشكل الحد المتراكب.

٥- استخدام سوائل التبريد التي تؤدي إلى خفض الاحتكاك على السطح الأمامي لأداة القطع.

- ٦- خفض لدونة المعدن المشغل باستخدام معالجة حرارية خاصة أو باستبدال المعدن. على سبيل المثال: استخدام الفولاذ منخفض المنغنيز ومرتفع الكبريت.

#### ٤-٤- علاقة الظواهر في عملية تشكيل الوايش:

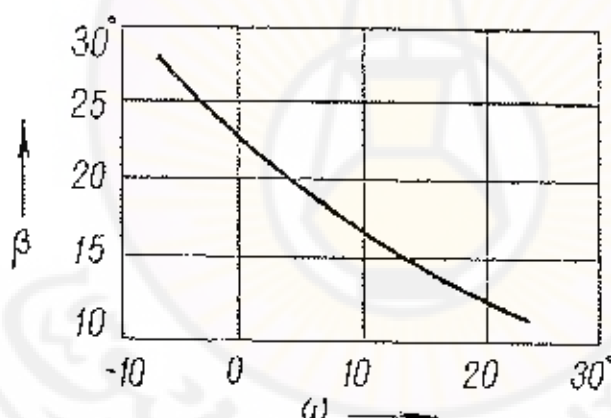
تؤثر ظروف القطع في عمليات التشوه والاتصال في منطقة القطع. ويمكن أن يكسبون تأثير هذه الظواهر مباشراً أو غير مباشر. فإن تغير زاوية الجرف  $\gamma$  يؤدي إلى زيادة أو نقصان في معامل الاحتكاك الوسطي وزاوية التأثير.

تقسم متغيرات عملية القطع إلى مجموعتين داخلية وخارجية: تشمل مجموعة المتغيرات الداعية زاوية التأثير ودرجة الحرارة على السطح الأمامي لأداة القطع وزاوية الجرف الفعلية والمتضمنة الحد المتراكب وعرض ساحة الاتصال ومعامل الاحتكاك الوسطي وغيرها. أما مجموعة المتغيرات الخارجية فتشمل الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمعدن



المشغل وللمادة أداة القطع وهندسة أداة القطع ومتغيرات نظام القطع وخواص سسوائل التبريد.

يؤثر بشكل كبير وغير مباشر على عملية القطع زاوية التأثير وزاوية الجرف وسرعة القطع وخواص المعدن المشغل. ويكون تأثير العوامل الأخرى على عملية القطع مباشراً مثل سماكة طبقة الرايش المقطوعة. يعتمد على زاوية القص  $\beta$  معامل انكماش الرايش والقص والعامل المصروف على تشكّل الرايش. تعتمد زاوية القص بشكل غير مباشر على زاوية التأثير، ويمكن تغير زاوية التأثير بتغير معامل الاحتكاك نتيجة استخدام سوائل التبريد، أو بخفض خشونة السطح الأمامي لأداة القطع عند طريق صقله. يبين (الشكل ٤-١٤) أن زيادة زاوية التأثير تنخفض زاوية القص، وهذا يؤدي إلى زيادة درجة تشوه الطبقة المقطوعة وتشكّل الرايش.

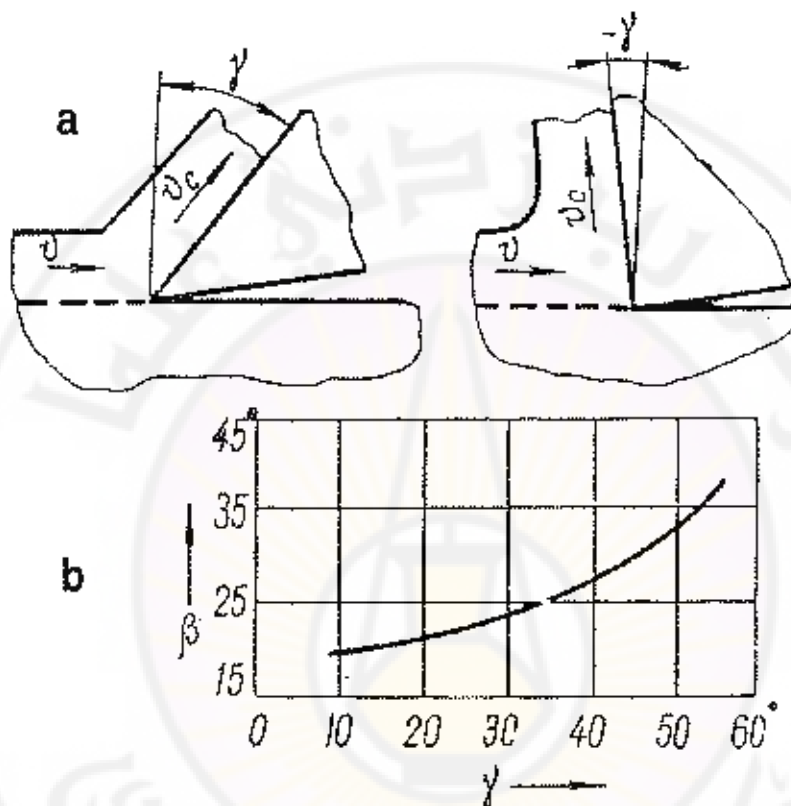


الشكل (٤-١٤)

علاقة زاوية التأثير  $\omega$  بزاوية القص  $\beta$  عند زاوية جرف ثابتة

تؤثر بشكل غير مباشر زاوية الجرف  $\gamma$  على عملية الرايش. مع خفض زاوية الجرف تزداد الزاوية بين شعاع سرعة القطع  $v$  وسرعة انزلاق الرايش  $v_r$ . هذا يتغير اتجاه

حركة الطبقة المقطوعة (الشكل ١٥-٤-أ)، وتنخفض زاوية القص وتزداد درجة تشوه الطبقة المقطوعة (الشكل ١٥-٤-ب).



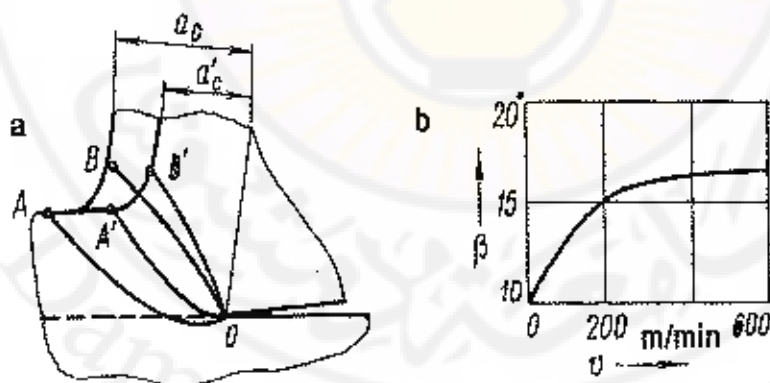
الشكل (١٥-٤)

علاقة زاوية الجرف  $\gamma$  بزاوية القص  $\beta$  عند زاوية تأثير ثابتة

عند تشغيل المعادن بدون تشكل الحد المتراكب فإن التأثير المباشر لزاوية الجرف على عملية تشكل الرايش متعلق فقط بتغير زاوية التأثير، وبالتالي تغير اتجاه السطح الأمامي

ومعامل الاحتكاك الوسطي. مع خفض زاوية الجرف  $\gamma$  تزداد زاوية التأثير نتيجة تغير وضعية السطح الأمامي، وتنخفض نتيجة خفض معامل الاحتكاك الوسطي. عند التشغيل مع تشكل الحد المتراكب فإن تأثير زاوية الجرف  $\gamma$  على عملية تشويه الرايش لا يذكر لأنه كلما انخفضت زاوية الجرف أصبح ارتفاع الحد المتراكب أكبر وازدادت زاوية الجرف الفعلية.

تؤثر بشكل غير مباشر سرعة القطع على عملية تشكل الرايش، ويبين ذلك في عملية تغير زاوية القص. عند سرعات قطع منخفضة تكون منطقة التشوه الأولية  $OAB$  (الشكل ٤-١٦-أ) ذات أبعاد كبيرة. مع زيادة سرعة القطع تحتاز الطبقة المقطوعة منطقة الإجهادات، ولا تستطيع التشوهات اللدنة أن تسمى الحدود الدنيا  $OA$  لمنطقة التشوه. بالنتيجة تنزلق الطبقة إلى الوضعية  $OA'$ ، أما الحدود العليا فتزلق إلى الوضعية  $OB'$ ، أي منطقة التشوه الأولي  $OA'B'$  تصبح أضيق وتزلق باتجاه عقارب الساعة. يؤدي هذا إلى زيادة زاوية القص وخفض درجة تشوه الطبقة المقطوعة (الشكل ٤-١٦-ب).



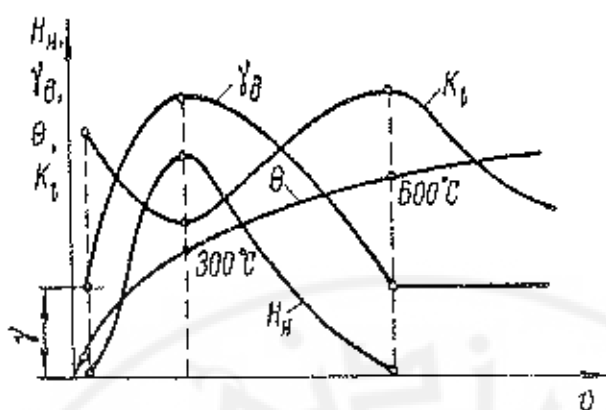
الشكل (٤-١٦)

علاقة سرعة القطع بزاوية القص عند زاوية تأثير ثابتة

إن التأثير المباشر لسرعة القطع  $v$  على عملية تشكيل الرايش يظهر في التأثير على زاوية التأثير بسبب تغير معامل الاحتكاك الوسطي وزاوية الجرف الحقيقية  $\gamma_r$  في حالة تشكيل الحد المتراكب. يتغير معامل الاحتكاك الوسطي مع تغير سرعة القطع  $v$ ، وبذلك تتغير الإجهادات الوسطية الناعمة. ودرجة حرارة القطع المؤثرة على مقاومة القص في طبقات الرايش، وبالتالي عند التشغيل دون تشكيل الحد المتراكب تسهل زيادة سرعة القطع عملية تشكيل الرايش، وينخفض القص النسبي والعمل المصروف على تشكيل الرايش.

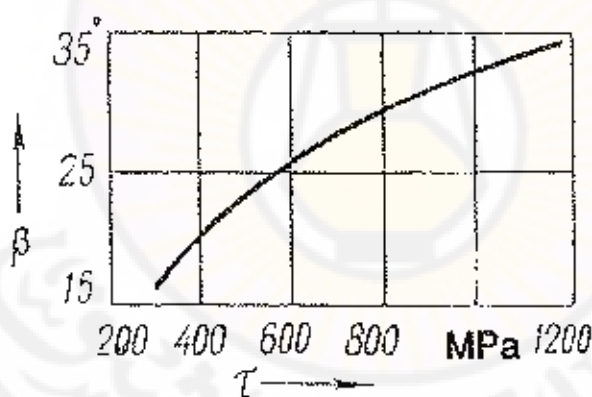
عند تشغيل المعادن مع تشكيل الحد المتراكب يحدد تأثير سرعة القطع على عملية تشكيل الرايش بشكل كبير بدرجة حرارة القطع. على سبيل المثال أظهرت الأبحاث أنه عند تشغيل الفولاذ يصل الحد المتراكب إلى ارتفاعه الأعظمي عند  $\theta = 300C^0$  ويختفي عند  $\theta = 600C^0$  يؤدي تغير درجة الحرارة إلى تغير متناسب بزاوية الجرف الحقيقية  $\gamma_r$  و  $H$  و  $K_r$  وغيرها الشكل (٤-١٧). عند سرعات القطع التي تسودي إلى زيادة درجة حرارة القطع إلى أعلى من  $600C^0$  تصبح زيادة سرعة القطع ذات تأثير جيد في تشكيل الرايش.

يظهر التأثير غير المباشر للخواص الميكانيكية للمعدن المشغل على عملية تشكيل الرايش في زيادة زاوية القص مع ارتفاع مقاومة القص للمعدن في منطقة تشكيل الرايش عند قيم ثابتة من  $\gamma$  و  $\omega$  (الشكل ٤-١٨)، وهذا تنخفض درجة تشوه الطبقة المقطوعة.



الشكل (٤-١٧)

العلاقة بين سرعة القطع  $v$  ودرجة حرارة القطع  $\theta$   
وارتفاع الحبل المتراكب  $H$  وزاوية الجرف الحقيقية  $\gamma_r$   
ومعامل انكماش الرايش  $K_r$



الشكل (٤-١٨)

تأثير مقاومة القص  $\tau$  للمعدن المشغل في منطقة تشكل  
الرايش على زاوية القص  $\beta$  عند قيم ثابتة لزاوية الجرف  $\gamma$   
وزاوية التأثير  $\omega$

يظهر التأثير المباشر لخواص المعدن المشغل على عملية تشكل الرايش عند عدم وجود الحد المتراكب في تغير زاوية التأثير نتيجة تغير معامل الاحتكاك الوسطي. عند درجة حرارة قطع ثابتة يكون تغير معامل الاحتكاك الوسطي لمعظم المعادن المشغلة طفيفاً، ولهذا عند زيادة مقاومة المعدن لتشوه اللدن تزداد الإجهادات المماسية والناظمية. وعند سرعات قطع  $v$  ثابتة مع زيادة مقاومة المعدن لتشوه اللدن ينخفض معامل الاحتكاك الوسطي الذي يؤدي إلى تغير معامل الانكماش  $K_f$  و  $\varepsilon$ .

إذا جرت عملية القطع مع تشكل الحد المتراكب يظهر التأثير المباشر لخواص المعدن المشغل في عملية تشكل الرايش في تغير زاوية الجرف الحقيقية  $\gamma_r$ . تؤثر سماكة طبقة المعدن المقطوعة ( $\alpha$ ) على عملية تشكل الرايش فقط بشكل مباشر عند عدم تشكل الحد المتراكب، وتؤدي زيادة سماكة طبقة المعدن المقطوعة  $\alpha$  إلى زيادة معامل الاحتكاك  $\mu$  الذي ينخفض بسبب زيادة الإجهادات النازمية على السطح الأمامي لأداة القطع عند زيادة  $\alpha$ . كلما كانت سماكة طبقة المعدن المقطوعة أكبر كان القص والعمل المبذول لتشكيل الرايش أصغر. عند تشغيل معدن مع تشكل الحد المتراكب تؤثر سماكة الطبقة المقطوعة على عملية تشكل الرايش، وبشكل مباشر تستغير زاوية الجرف الحقيقية. بعبارة أخرى يوجد بين العمليات في منطقة التشوه الأولي وعلى السطح الأمامي لأداة القطع علاقة معقدة. أي تغير في ظروف الاحتكاك على مساحة الاتصال، يؤثر حدوث عمليات التشوه وصفات تشكل السرايش، وبالعكس تفسر ظروف تشكل الرايش وتغير درجة حرارة القطع وسرعة القطع يؤثر على عمليات التلامس في منطقة القطع. إن كل تغير في الحالة الإجهادية في أية منطقة يؤدي إلى تغير الحالة الإجهادية في المناطق الأخرى.

## الفصل الخامس

### القوى والعمل عند قطع المعادن

- ٥-١- الحالة الإجهادية في منطقة القطع
- ٥-٢- الطرق التجريبية لتحديد قوى القطع
- ٥-٣- أثر العوامل المختلفة على قوى القطع
- ٥-٤- قوى القطع عند عمليات التشغيل المختلفة
- ٥-٥- عمل وطاقة القطع
- ٥-٦- الاهتزازات في النظام التكنولوجي





## ٥-١- الحالة الإجهادية في منطقة القطع:

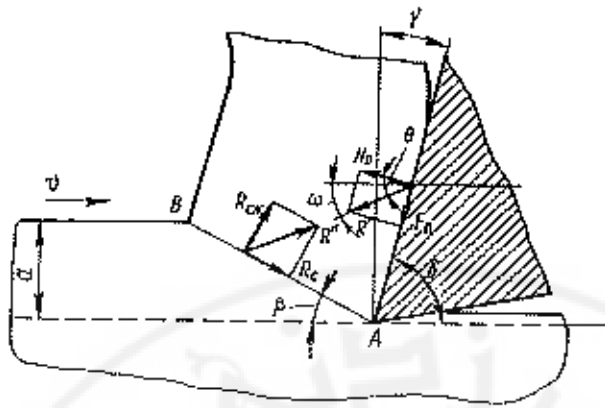
لندرس عملية دخول الحد القاطع في المعدن المشغل. عند قطع طبقة من المعدن تسؤثر قوى على السطح الأمامي تكون ناظمية ومماسية له. ويمكن إيجاد محصلة هذه القوى  $R'$  التي تتكون من مجموع القوى الناظمية على السطح الأمامي  $N_x$  وقوى الاحتكاك  $I''$  (الشكل ٥-١). تسمى المحصلة  $R'$  بقوة تشكل الرايش. ويحدد اتجاه المحصلة بزاوية التأثير  $\omega$ . وهي بين المحصلة  $R'$  وسرعة القطع  $v$ . يمكن إيجاد زاوية التأثير في مستوي قص وحيد حسب المعادلة:

$$\omega = v - \gamma$$

حيث  $v$  - زاوية الاحتكاك على السطح الأمامي لأداة القطع.  
تعادل القوة  $R'$  مقاومة المعدن المشغل المزاح خلال عملية القطع التي يرمز لها بـ  $R''$  وهي عبارة عن المجموع الهندسي للإجهاد الناشئ في منطقة تشكل الرايش. تتألف القوة  $R''$  من مركبتين - قوة القص  $R_c$  المؤثرة في مستوي القص  $AB$  وقوة متعامدة معها هي قوة الضغط  $R_p$ ، ويإهمال الإجهادات الداخلية الناظمية في مستوي القص تكون قوة تشكل الرايش:

$$R' = \frac{(\tau_c ab)}{[\sin(\delta + v + \beta) \sin \beta]} = \frac{(\tau_c ab)}{[\cos(\gamma - v - \beta) \sin \beta]}$$

حيث  $\tau_c$  - إجهاد القص،  $\beta$  - زاوية القص.



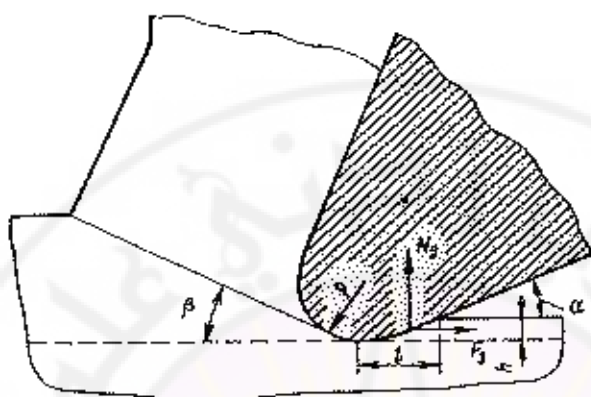
الشكل (١-٥)

قوى القطع الناشئة في السطح الأمامي وفي مستوي القص

تبين المعادلة أن قوة تشكل الرايش تعتمد على خصائص المتانة للمعدن المشغل ومقطع الرايش غير المقطوع، وكذلك زاوية القطع وزاوية الاحتكاك وزاوية القص. فإذا كان التشوه في الاختبارات الميكانيكية هو نتيجة لتأثير القوى، فإن في عملية القطع تكون القوى هي نتيجة التشوه، ولهذا فإن تغيير ظروف القطع يؤدي إلى تغير القيم الداخلة في تحديد القوى.

إن التشوه المعدني الأولي نتيجة ضغط قوى تشكيل الرايش  $R'$  يتوزع على قطاعات متوضعة تحت خط القطع. عند تحريك الحد القاطع للأمام تبدأ الطبقة السطحية المشوهة بالتأثير على السطح الخلفي لأداة القطع، تنشأ على هذا السطح قوى حتى عند القطع بأداة ذات حد قاطع حاد. تزداد القوى عند وجود استدارة للحد القاطع، وذلك لأن المعدن المشغل يُقطع جزئياً، ويضغط الجزء الآخر في سطح القطع (الشكل ٢-٥). وبعبارة أخرى نتيجة التلامس المرن واللدن للسطح الخلفي وسطح القص تنشأ قوى ناظمية  $N_1$  وقوى احتكاك  $N_2$ . تزداد هذه القوى عند زيادة إجهاد القص  $\tau_c$  وعرض

المقطع  $b$  وعمق الاهتراء على السطح الخلفي للأداة، ولا تعتمد قيم القوى  $N_3$  و  $F_3$  على سماكة الرايش غير المقطوع.



الشكل (٢-٥)

قوى المقطع الناشئة على السطح الخلفي

يبين الشكل (٥-٣-٥) نظام القوى المتشكلة عند المقطع الحر. يضغط الرايش على السطح الأمامي للمقطع بقوة  $R_n^2$  تساوي محصلة القوى الناعمية  $N_n$  وقوة احتكاك الرايش مع السطح الأمامي  $F_n$ ، أي :

$$\bar{R}_n = \bar{N}_n + \bar{F}_n$$

وبالوقت نفسه يؤثر على السطح الخلفي لأداة المقطع وبالقرب من الحد القاطع قوة ناعمية هي رد الفعل المرن للمعدن المشغل  $N_3$  ، وقوة احتكاك مع السطح الخلفي لأداة المقطع  $F_3$  ، وتكون محصلتهم القوة  $R_3$  . وبسبب صغر الزاوية الخلفية  $\alpha$  وعند وجود مناطق اهتراء على بعض أجزاء السطح الخلفي يمكن أن تصل هذه الزاوية إلى الصفر، فيمكن اعتبار منحنى حساب القوى  $N_3$  و  $F_3$  كما هو مبين في الشكل (٥-٣-٥) أي اتجاه  $F_3$  عكس اتجاه شعاع سرعة المقطع  $v$  . في حالة عدم وجود

عملية القطع أو الحفاظ على وضعية غير محددة لأداة القطع يجب وضع قوة تساوي بالقيمة وتحالف بالاتجاه القوة  $R$  (الشكل ٥-٣-٢) أي:

$$\bar{R} = \bar{R}_n + \bar{R}_3$$

نحلل القوة  $R$  المتوضعة على أداة القطع إلى مركبتين:

(١)  $R_2$  باتجاه حركة القطع الرئيسية (تسمى قوة القطع الرئيسية)

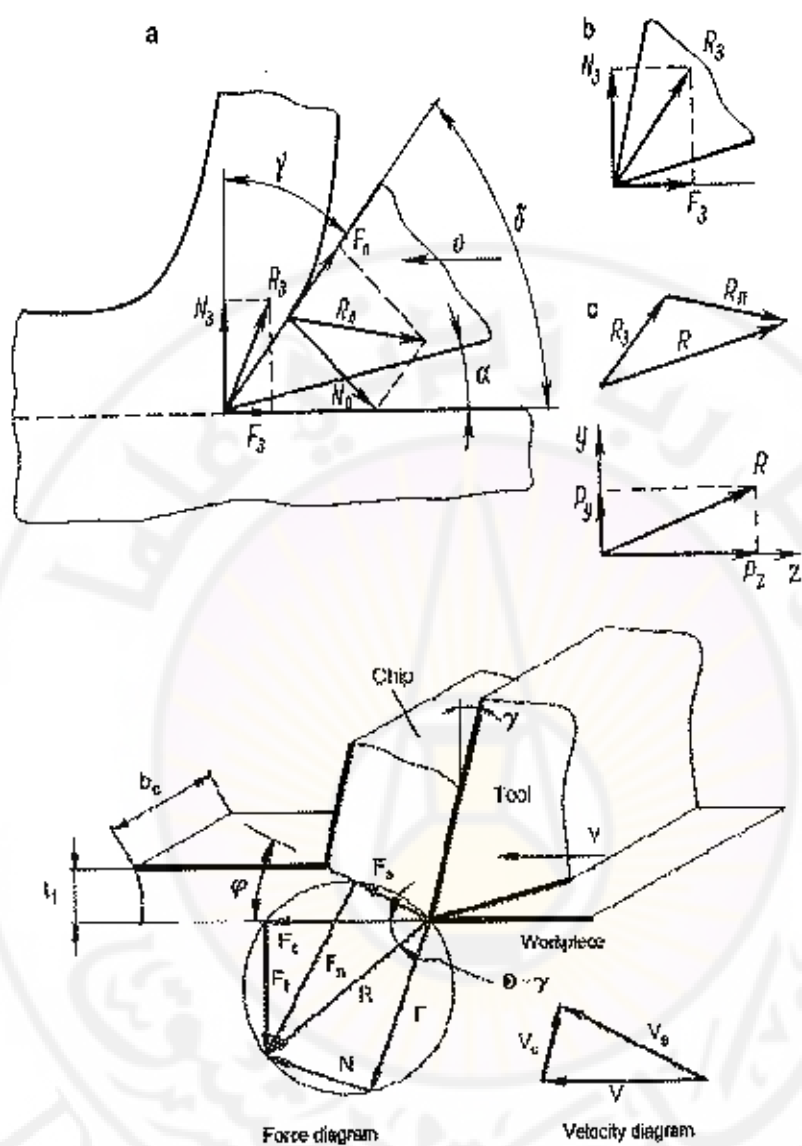
(٢)  $R_y$  باتجاه يوافق محور أداة القطع (تسمى قوى القطع القطرية)

وياسقاط القوى المؤثرة على المحاور  $Z$  و  $Y$  يكون:

$$P_z = N_n \cos \gamma + F_n \sin \gamma + F_3;$$

$$P_y = -N_n \sin \gamma + F_n \cos \gamma + N_3$$

يمكن حساب القوى المؤثرة على السطح الأمامي والخلفي للأداة وكذلك باتجاه المحاور  $Z$  و  $Y$  بشكل نظري بالاعتماد على نظرية اللدونة والمرونة وغيرها. غير أن المعادلات تتعلق بخواص المعدن المشغل لذلك تحدد قوى القطع باستخدام الطرق التجريبية.



المشكل (٣-٥)

مخطط القوى المؤثرة عند القطع الحر

## ٥-٢ - الطرق التجريبية لتحديد قوى القطع:

### ٥-٢-١ - الطريقة التجريبية لبحث قوى القطع:

تحدد قوى القطع على أساس القياس المباشر باستخدام أجهزة خاصة، وتوجد أجهزة كثيرة لقياس القوى تسمى الدينامومتر (مقياس القوة)، وتعمل هذه الأجهزة على أساس استخدام التشوهات لعناصرها المرنة أو حساسات لقياس قوى القطع. ومهما كان تصميم الدينامومتر فإنه يتألف من الأجزاء التالية:

١- مقياس أولي لاستقبال الحمولة

٢- أجهزة تسجيل

٣- وصلات مساعدة

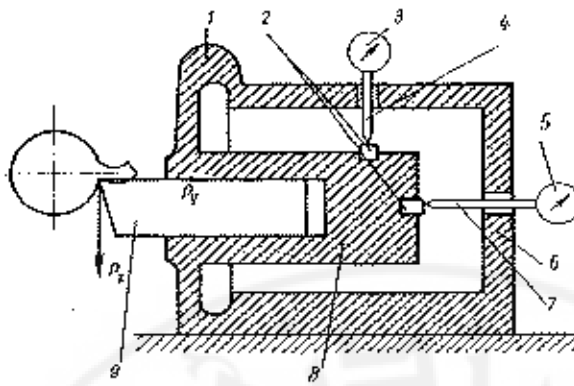
تقسم الدينامومترات إلى ثلاث مجموعات حسب مبدأ عملها إلى هيدروليكية وميكانيكية وكهربائية.

### الدينامومترات الهيدروليكية:

لا تستخدم هذه المقاييس في الوقت الحاضر بسبب تفاقل حركة نظام عتلة - مكبس الذي يتأخر بإظهار العمليات السريعة، ويشوه تغير قوى القطع بالقيمة والزمن. كما أن هذه الأجهزة ذات حساسية منخفضة.

### الدينامومترات الميكانيكية:

يعتمد مبدأ هذه الأجهزة على تأثير قوى القطع على أداة القطع و (الشكل ٥-٤) وبالتالي على حامل أداة القطع ٨ الذي يحتوي على جدران مرنة ١ تشكل الهيكل ٦. تثبت على الحامل ٨ كتل مزلفة ٢ عند الحركة تضغط على دلائل ٤ و ٧ تنقل الحركة إلى المؤشر ٣ و ٥. وبالرغم من بساطة هذه الأجهزة إلا أن استخدامها محدد بسبب انخفاض دقتها.



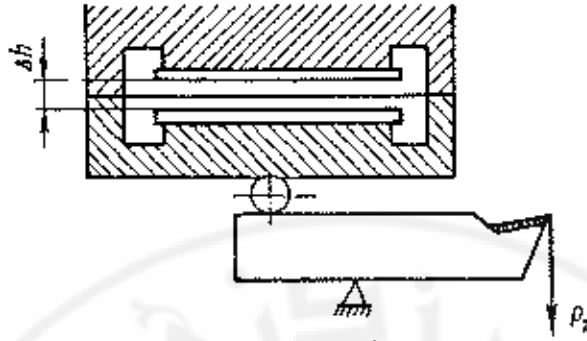
الشكل (٤-٥)

مخطط الدينامومتر الميكانيكي

### الدينامومترات الكهربائية

تعد الدينامومترات الكهربائية أكثر الأجهزة حساسية بسبب عطلاتها المنخفضة وتسمح بمساعدة راسم الإشارة بتسجيل العمليات التي تحدث بسرعة بأجزاء من مئات الآلاف من الثانية. تحول هذه الأجهزة التأثير الميكانيكي لقوى القطع إلى قيم كهربائية سهلة القياس. تقسم الدينامومترات الكهربائية إلى سعوية (مكثفية) وتحريضية وذات قياس الانفعال.

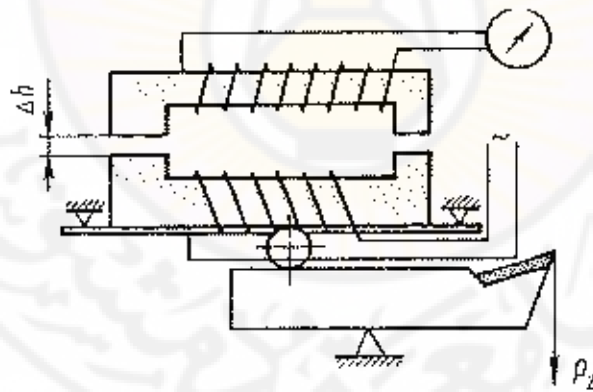
تتحرك في المحولات السعوية (الشكل ٥-٥) صفيحة المكثف تحت تأثير قوى القطع ويتغير بذلك الخلوص الهوائي  $\Delta h$ ، وبالتالي سعة المكثف. يؤدي تغير السعة إلى تذبذب قوة التيار وذلك بمساعدة أجهزة عالية التردد. تسجل ذبذبات التيار بواسطة مقياس غلفاني أو راسم إشارة.



الشكل (٥-٥)

المقياس السعوي لقوى القطع

تعتمد المقاييس التحريضية (الشكل ٦-٥) على قياس التحريض في الدارة، وبالتالي قوة التيار في الملفات وذلك حسب الخلوص الهوائي  $\Delta h$  بين الأجسام الفيرومغناطيسية. يؤثر التغير في قوة القطع حتماً على التيار المسجل.

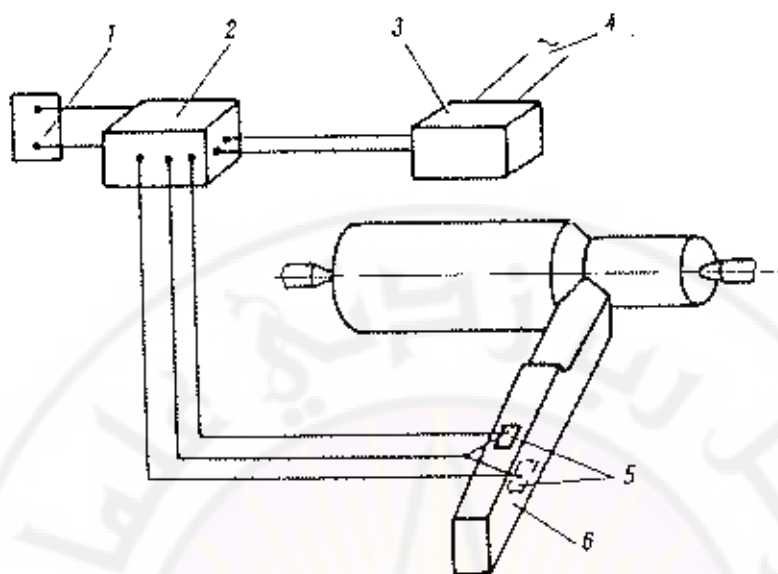


الشكل (٦-٥)

المقياس التحريضي لقوى القطع



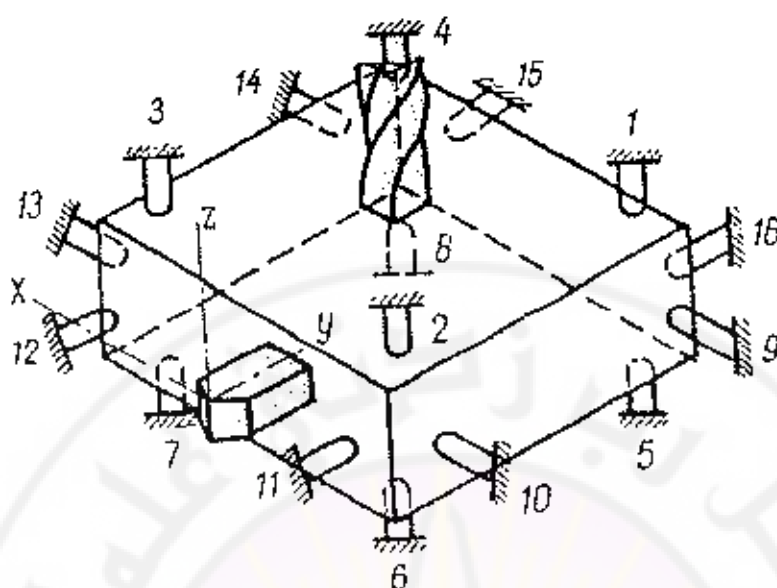
تستخدم الدينامومترات الكهربائية ذات مقياس الانفعال مجموعة من الأسلاك الرفيعة جداً (حساسات) تحضر من خلائط خاصة، حيث تتغير المقاومة الكهربائية فيها عند تشوه الأسلاك الرفيعة (الحساسات). تتوضع شبكة الأسلاك بين لصاقات ورقية تلتصق على أداة القطع 6 (الشكل ٥-٧). يتشوه بشكل مرن الحساس (اللصاقة) 5 المثبت على الأداة 6 تحت تأثير قوى القطع. يؤدي هذا التشوه إلى تغير في قوى التيار في الدارة الكهربائية، ويتم تضخيم التغير في التيار الكهربائي باستخدام مضخم الإشارة 2 وتقاس الإشارة بواسطة جهاز التسجيل 1. وحتى لا يحدث تشويه قراءات الأجهزة عند قياس قوى القطع نتيجة التوتر المتناوب من الضروري توصيل منظم جهد 3 في الدارة الكهربائية يوضع بين منبع التيار 4 وأجهزة التسجيل. وتسمى هذه الأجهزة بالأحادية أو الثنائية أو الثلاثية، وذلك حسب عدد مركبات القوى التي يمكن قياسها. يبين الشكل (٥-٨) الدينامومتر العمومي الذي يسمح بقياس مركبات قوى القطع سواء في عملية الخراطة أو التفريز أو الثقب أو الجلف أو غيرها يتألف بشكل أساسي من صفيحة مربعة مثبتة في هيكل الدينامومتر على ركائز مرنة 1 إلى 16 (الشكل ٥-٨) ملصق عليها حساسات قياس الانفعال. تكون الركائز على شكل أنبوبي ذات جسوة عالية باتجاه محاورها وجسوة منخفضة في الاتجاه العمودي على محاورها. تتلقى الركائز الشاقولية القوى المطابقة للمحور  $Z$ ، وكل ركيزة تحتوي على حساس واحد، أما الركائز الأفقية فتتلقى القوى المطابقة للمحاور  $X, Y$ ، وعزم القتل وكل ركيزة تحتوي على حساسين اثنين. تقوم الحساسات الأولى بقياس القوى الأفقية والحساسات الثانية لقياس عزم القتل. توصل الحساسات فيما بينها بشكل تكون الإشارة في مخرج نظام القياس عبارة عن المجموع الجبري لحالة الركائز. وهذا يؤمن عدم اعتماد الدينامومتر على تبدي أداة القطع.



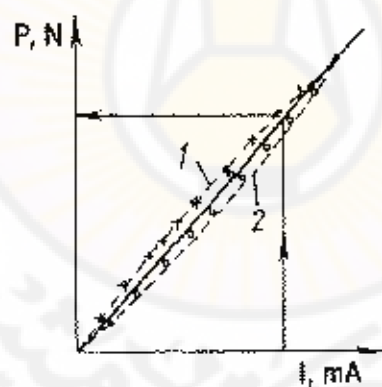
الشكل (٧-٥)

مخطط قياس قوى القطع باستخدام مقياس الانفعال

لا تحدد الدينامومترات قوى القطع مباشرة، ويتطابق مؤشراتها مع التشوه والتسائير النسبي للقوة. ولهذا وقبل العمل من الضروري معايرة السدينامومتر، وتتم المعايرة بتحميل الدينامومتر باتجاه قوى القطع في البداية بقوى متزايدة ومن ثم بقوى متناقصة معروفة. تسجل مؤشرات الدينامومتر الموافقة للقوى المحددة الشكل (٩-٥) وعكسها أساس هذه المعطيات ينشأ خط وسطى بين التحميل وعدم التحميل هو خط المعايرة الذي يستخدم في تفسير مؤشرات الدينامومتر.



الشكل (٨-٥)  
المخطط العام للدينامومتر



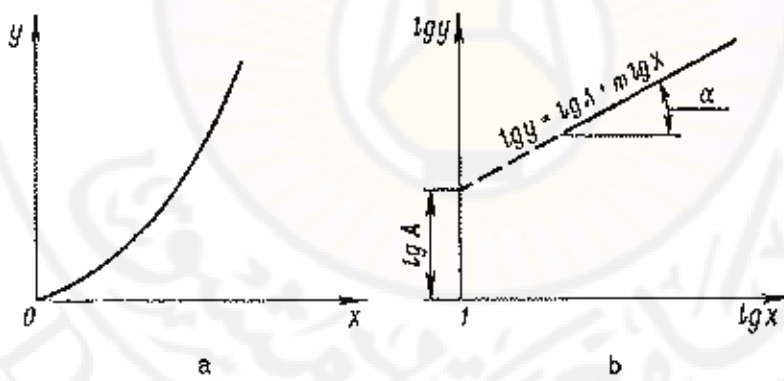
الشكل (٩-٥)  
منحني معايرة قوى القطع  $P$   
١- تحميل ، ٢- إزالة التحميل

### ٥-٢-٢ طريقة المعالجة الرياضية لنتائج التجارب:

بينت الأبحاث العديدة أن العلاقة بين القيم المختلفة التي تصف عملية القاطع يمكن وبشكل دقيق التعبير عنها بعلاقة تجريبية على شكل دالة أسية  $y = Ax^m$  (الشكل ٥-١٠). ويمكن إيجاد مثل هذه الدالة في حالة استخدام إحداثيات ثنائية لوغاريتمية. وعندها لا توضع القيم نفسها في الإحداثيات الديكارتية وإنما توضع لوغاريتم القيم. يأخذ لوغاريتم المعادلة  $y = Ax^m$  تحصل على:

$$\lg y = \lg A + m \lg x$$

وهي توافق معادلة خط مستقيم  $y = a + bx$ . هذا يعني تكون الدالة الأسية في الإحداثيات اللوغاريتمية عبارة عن خط مستقيم. أضف إلى ذلك أن قيمة  $m$  تعبر عن ظل الزاوية  $\alpha$  زاوية ميل المستقيم على المحور  $x$  بينما  $\lg A$  جزء من المحور  $y$  الموافق لـ  $x = 1$  (الشكل ٥-١٠ ب).



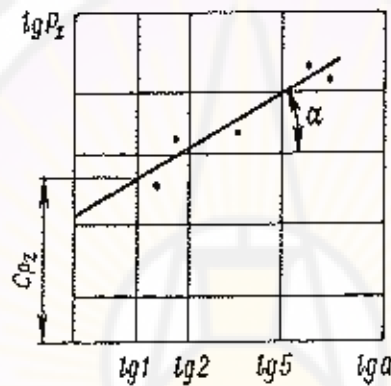
الشكل (٥-١٠)

مخطط الدالة الأسية

لنفرض أن المطلوب وضع علاقة المدالة:

$$P_z = f(a) = C_{p_z} a^{yp_z}$$

لهذا تجري تجارب لقياس قوى القطع عند سماكات ريش  $a$  مختلفة مع الحفاظ على متغيرات القطع الأخرى. نضع نتائج الاختبارات على إحداثيات لوغاريتمية (الشكل ٥-١١). ثم نرسم خط مستقيماً يمر أو يقرب أكثر عدد من النقاط. ويكون هذا الخط هو الخط البياني الذي يعبر عن العلاقة المطلوبة. يحدد ظل زاوية ميل الخط  $p_z$  لا بينما الجزء من المحور  $y$  يحدد عند  $a=1-C_{p_z}$



الشكل (١١-٥)

التحديد البياني للمعامل الثابت والأس في المعادلة:  $P_z = C_{p_z} a^{yp_z}$

بشكل مماثل نجد:  $P_z = f(t)$  و  $P_z = f(v)$  و  $P_z = f(s)$  ونحصل على العلاقات:

$$P_z = C_{1p_z} v^{xp_z}$$

$$P_z = C_{2p_z} s^{zp_z}$$

العلاقة العامة:

$$P_z = C_{P_z} t^{xp_z} s^{yp_z} v^{zp_z} \quad (5-1)$$

وتكون العلاقات الجزئية:

$$P_z = C_{1P_z} t^{xp_z} \quad v, s = \text{const} \quad (5-2)$$

$$P_z = C_{2P_z} s^{yp_z} \quad v, t = \text{const} \quad (5-3)$$

$$P_z = C_{3P_z} v^{zp_z} \quad t, s = \text{const} \quad (5-4)$$

وبمساواة الأجزاء الأولى من المعادلة (5-1) والمعادلات (5-2) و (5-3) و (5-4) وباعتبار أن  $C_{P_z}$  في كل حالة منفصلة يساوي  $C'_{P_z}, C''_{P_z}, C'''_{P_z}$  يكون:

$$P_z = C'_{P_z} t^{xp_z} s^{yp_z} v^{zp_z} = C_{1P_z} t^{xp_z}$$

$$C'_{P_z} = C_{1P_z} / (s^{yp_z} v^{zp_z}) \quad \text{وبتعديلات بسيطة نحصل على}$$

$$C''_{P_z} = C_{2P_z} / (t^{xp_z} v^{zp_z}) \quad \text{وبالطريقة نفسها نحدد:}$$

$$C'''_{P_z} = C_{3P_z} / (t^{xp_z} s^{yp_z})$$

ويعطي وسطي القيم  $C'_{P_z}, C''_{P_z}, C'''_{P_z}$  قيمة  $C_{P_z}$ .

تعتبر طريقة تحليل المنحنيات لمعالجة النتائج طريقة بسيطة وسهلة، ولكن السبب في هذه الطريقة هو الرسم الذاتي للمستقيم المار بالنقاط. ولهذا توجد طرق أخرى تتعامل مع نتائج الاختبارات في علاقة عامة، وتحدد المعاملات لهذه المعادلة انطلاقاً من المتغيرات الأكثر تطابقاً مع الحالة. ومن هذه الطرق طريقة المربعات الصغرى.

على سبيل المثال تحول المعادلة  $P = CS^\alpha t^\beta$  بالطريقة اللوغارتمية إلى

$$\lg P = \lg C + \alpha \lg s + \beta \lg t$$

وباعتبار  $\lg P = N$  ،  $\lg s = x$  ،  $\lg t = y$  ،  $\lg C = z$  ،

يكون  $N = \alpha x + \beta y + z$

يشابه مبدأ طريقة المربعات الصغرى طريقة تحليل المنحنيات، ولكن تحدد مستغيرات المعادلة بالطريقة الحسابية.

أظهرت نظرية الاحتمالات أن أفضل وضعية للحقيقة هو المنحني الذي له مجموع مربعات المسافة الشاقولية من النقاط إلى المنحني أصغرية، ومن هنا أتت تسمية الطريقة بطريقة المربعات الصغرى .

في حالتنا والخط المستقيم يكون:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - A - Bx_i)^2 \rightarrow \min$$

حيث  $n$  عدد النقاط التجريبية.

من الضروري تحديد الحد الأصغري لأجزاء المعادلات لـ  $A$  و  $B$  ومساواتها للصفر فنحصل على:

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - A - Bx_i) = 0$$

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - A - Bx_i)x_i = 0$$

أي:

$$nA + B \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$A \sum_{i=1}^n x_i + B \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i x_i$$

بالحل نحصل:

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

لندرس مثلاً محدداً لمعالجة معطيات التجارب بطريقة المربعات الصغرى:

المثال: نتيجة الاختبارات لعملية خراطة حصلنا على القيم التالية لقوة القطع  $P$  عند

عمق  $t$  وتغذية  $s$

| $P, N$ | $t, mm$ | $S, mm/r.p.m$ |
|--------|---------|---------------|
| 1530   | 3       | 0.6           |
| 2380   | 5       | 0.6           |
| 3410   | 7       | 0.6           |
| 4770   | 10      | 0.6           |
| 4000   | 5       | 0.8           |
| 5150   | 7       | 0.8           |
| 8000   | 10      | 0.8           |
| 3500   | 3       | 1.2           |
| 4600   | 5       | 1.2           |
| 6800   | 7       | 1.2           |
| 9500   | 10      | 1.2           |
| 6000   | 5       | 1.6           |
| 8000   | 7       | 1.6           |
| 10000  | 10      | 1.6           |

شكل المعادلة المعطى  $P = CS^\alpha t^\beta$

تحدد قيم  $\beta, \alpha, C$  بطريقة المربعات الصغرى تكتب المعادلات التالية:

$$0.3763\alpha - 0.1628\beta - 0.2581 \lg C = -0.6031$$

$$-0.1628\alpha + 9.2664\beta + 11.1306 \lg C = 41.5087$$



$$-0.2488\alpha + 11.1306\beta + 14\lg C = 51.688$$

يحل هذه المعادلات نجد

$$\lg C = 2.984, C = 964, \beta = 0.91, \alpha = 0.84$$

وبالتالي ستأخذ المعادلة الشكل:

$$P = 964.s^{0.84}t^{0.91}$$

إن الطرق المدروسة لمعالجة معطيات التجارب لا تحدد العلاقة بين جميع متغيرات عملية القطع في العلاقات المعقدة. عادة يؤخذ عند الأبحاث التجريبية متغير واحد عند كسل مجموعة من الاختبارات، واعتبار باقي المتغيرات ثابتة وذلك يتطلب إجراء عدد كبير من مجموعات الاختبار.

### ٥-٣ - أثر العوامل المختلفة على قوى القطع:

#### ٥-٣-١ علاقة قوى القطع بعرض وسماكة الرايش:

تؤثر كل من سمك الرايش  $\alpha$  وعرضه  $b$  بشكل غير متساو على قوة القطع. تزداد قوى القطع، بشكل متناسب مع زيادة عرض الرايش  $b$  ولكن بشكل أقل من زيادة العرض  $a$ . يبين الشكل (٥-١٢) ظروف قطع مختلفة عند مساحة موحدة لمقطع الرايش. وتأخذ علاقة قوة القطع  $P_z = f(a, b)$  الشكل التالي

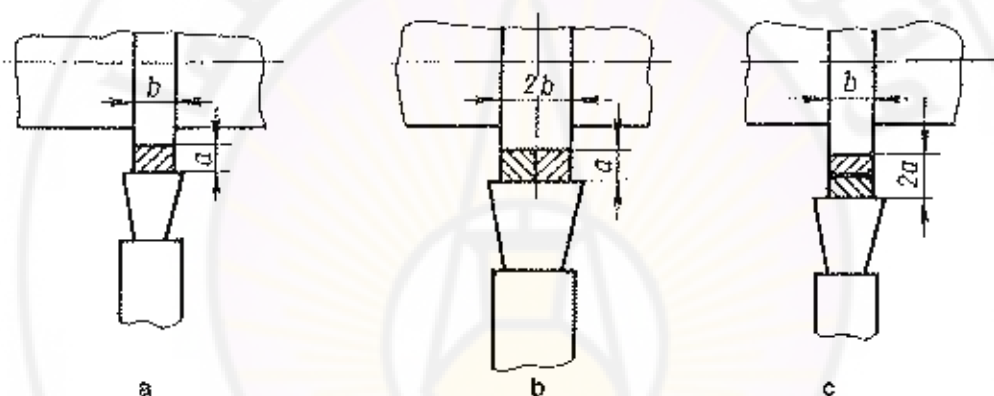
$$P_z = C_{p_z} b^{x_{p_z}} a^{y_{p_z}}$$

عند تشغيل مادة مختلفة (فولاذ، حديد صب، برونز) يكون:

$$C_{p_z} = 1500 \dots 2000 \quad y_{p_z} = 0,75 \quad x_{p_z} = 1,0$$

تباطؤ زيادة قوة القطع مع زيادة سماكة القطع يمكن تفسيره كما يلي: مع زيادة سماكة القطع تزداد الحمولة على واحدة طول الحد الفاصل. وبالتالي مع هذا تزداد درجة

حرارة القطع  $\theta$  التي تؤدي إلى خفض قوى الاحتكاك وانكماش الرايش وخفض مقاومة المعدن المشغل للتشوه اللدن. يتوزع التشوه اللدن والإجهاد بشكل غير موحد على سماكة الرايش، ويكون كبيراً في الطبقات الملامسة للسطح الأمامي لأداة القطع. ولهذا زيادة سماكة القطع (سماكة الرايش غير المقطوع) تؤدي إلى خفض نسبي للطبقة ذات التشوه الأعظمي. بالإضافة إلى ذلك قوة الاحتكاك  $f_3$  على السطح الخلفي لأداة القطع (كواحدة من القوى المضافة عند حساب قوى القطع) لا تتغير مع متغير سماكة القطع أو تتغير بشكل قليل جداً.



الشكل (١٢-٥)

تغير أبعاد القطع

(a) عرض وسماكة القطع  $a, b$  مضاعفة عرض القطع

(c) مضاعف سماكة القطع

بالنتيجة عند مساحة قطع محددة تنخفض قوى القطع مع نقص عرض وزيادة سماكة القطع معاً، وبما أن مساحة القطع تحدد أيضاً بعمق القطع ومقدار التغذية فإنه كلما زاد عمق القطع ومقدار التغذية زادت مساحة المقطع العرضي للرايش غير المقطوع وبالتالي كبرت قوى القطع. في الخراطة الطولية لعمق القطع أثر أكبر على قوة القطع

من عرض مقدار التغذية . إذا تضاعف عمق القطع يزداد عرض الرايش غير المقطوع إلى النصف، ويزداد الحمل الناتج عن القوى المؤثرة على وجهه وجانب القلم إلى الضعف أيضاً ولذلك:

$$F_z = C_1 t^x$$

حيث  $x$  تساوي الواحد أو قريبة من الواحد.

إذا ضعف مقدار التغذية فإن مساحة القطع تزداد إلى الضعف وتتضاعف السماكة ، وهكذا تزداد فقط الأجزاء التي تنتج القوى المؤثرة بشكل رئيسي على وجه القلم. ويؤدي ذلك إلى زيادة قوة القطع ولكن على أية حال أقل من الضعف

$$P_z = C_2 S^y$$

حيث  $y < 1$

### ٥-٣-٢ علاقة قوى القطع بخواص المعدن المشغل:

في عملية القطع لا يتم نزع الرايش من المعدن فقط بل ويحدث تشوه لدن شديد في المعدن يؤثر بشكل كبير على قوى القطع وقوى احتكاك الرايش والمعدن المشغل مع السطح الأمامي والخلفي لأداة القطع. لكن من الضروري الأخذ بالاعتبار أن في عملية قطع المعدن المشغل تسخن منطقة القطع. أي يمكن أن تتغير خواص المعدن عن خواصه عند الاختبارات الاستاتيكية. ولهذا لا يوجد علاقة دقيقة بين قوة القطع  $P_z$  ومتانة المعدن المشغل وكذلك قساوته وغيرها. أثبتت أن قوى القطع تزداد عند زيادة المتانة والقساوة واللدونة للمعدن المشغل، تستخدم عملياً عند قطع الفولاذ والحديد الصب عند حساب القوة  $p_z$  انطلاقاً من  $\sigma_B$  و  $HB$  المعادلات التالية

$$P_z = C_m \cdot \sigma_B^q$$

$$P_z = C_m HB^q$$

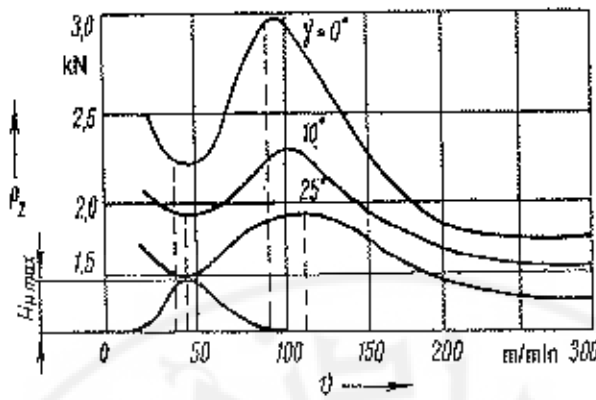
حيث  $q = 0.5$  تقريباً وهو دائماً لجميع المواد أقل من الواحد.

### ٥-٣-٣ علاقة قوى القطع بخواص معدن العدة:

يؤثر معدن أداة القطع على قوى القطع نتيجة تغير معاملات الاحتكاك (قوى الاحتكاك) بين معدن أداة القطع والمعدن المشغل. ضمن مجموعة فولاذ السرعات العالية والخلائط القاسية من التنجستين والكوبالت لا تتغير معاملات الاحتكاك وانكماش الرايش وبالتالي قوة القطع  $P_z$  لا تتغير، عند استخدام مادة أداة القطع عن خلائط التنجستين والتيتانيوم فإن القوة  $P_z$  تنخفض مع زيادة احتواء كريد التيتانيوم في الخلطة. وللمقارنة عند التشغيل باستخدام أداة من فولاذ السرعات العالية واعتبار أن  $P_z = 1$  فإنه عند الظروف نفسها تكون القوة  $P_z = 1$  أيضاً عند استخدام أداة قطع من كريد التنجستين وتكون  $P_z = 0,95 \dots 0,9$  عند استخدام كريد التيتانيوم

### ٥-٣-٤ علاقة قوى القطع بسرعة القطع:

سابقاً اعتبر أن سرعة القطع عملية لا تؤثر على قوى القطع أما في الوقت الحاضر فأصبح معروفاً كيف تتغير قوى القطع عند مجال كبير من سرعات القطع. تفسر هذه العلاقة من خلال مثال عند خراطة الفولاذ  $40C_r$ . من الضروري في البداية تحديد العلاقات  $K_f = f(v)$ ,  $P_z = f(v)$ . في مجالات سرعات القطع التي ينخفض عندها معامل الانكماش للرايش تنخفض قوى القطع (الشكل ٥-١٣) والعكس صحيح وهذا مرتبط بقانون. ترتبط زيادة قيمة معامل الانكماش بنقصان زاوية القص  $\beta$  وبالتالي زيادة السطح الذي يحدث فيه القص وزيادة تشوه المعدن، أي يحدث تقسية المعدن وبالتالي ترتفع الإجهادات عند القص. تؤدي زيادة الإجهادات ومساحة القص إلى زيادة قوة القطع. كما أن قوة القطع ومعامل التقسية يعتمدان على معامل الاحتكاك عند تشوه الطبقة المقطوعة.



الشكل (٥-١٣)

علاقة قوى القطع بسرعة القطع وزاوية الجرف للفلاد  $b = 4mm, a = 0,2mm, 404$

تفسير العلاقة المعقدة  $P_z = f(v)$  يظهر الحد المتراكب على السطح الأمامي للأداة. تطابق القيمة الدنيا لقوة القطع الاحتمال الأكبر لتشكيل الحد المتراكب. عند سرعات قطع منخفضة (توافق عدم تشكيل الحد المتراكب) تكون قوى القطع كبيرة. في مجال سرعات قطع توافق الاحتمالات العظمى لتشكيل الحد المتراكب، تنخفض قوى القطع وانكماش الريش بسبب أنه مع زيادة أبعاد الحد المتراكب تزداد زاوية الجرف الحقيقية، ومع الاستمرار في زيادة سرعة القطع وارتفاع الحد المتراكب وبالتالي زاوية الجرف تنخفض وبالوقت نفسه يزداد معامل انكماش الريش وقوة القطع. يؤدي التشغيل بسرعات قطع عالية جداً إلى زيادة كبيرة في درجات حرارة القطع وبالنسبة انخفاض معامل الاحتكاك وبالتالي قوة القطع  $P_z$ . كلما كانت زاوية الجرف أقل كانت التضاريس العليا والدنيا للمنحنيات  $P_z = f(v)$  أقل ويفسر ذلك بأنسه عند زوايا جرف صغير يكون الحد المتراكب المشكل أكبر.

يكون تشكيل الحد المتراكب صغيراً عند تشغيل الحديد الصلب، ولهذا فإن العلاقة  $P_z = f(v)$  لها شكل انسيابي (الشكل ٥-١٤)، وتكون أيضاً مثل هذه العلاقة

للمواد التي لا تميل إلى تشكيل حد متراكب مثل النحاس والفولاذ غير قابل للصدأ والفولاذ المقاوم للحرارة وخلائط التيتانيوم.



الشكل (١٤-٥)

علاقة قوة القطع بسرعة القطع عند تشغيل حديد الصب

#### ٥-٤ - قوى القطع عند عمليات التشغيل المختلفة:

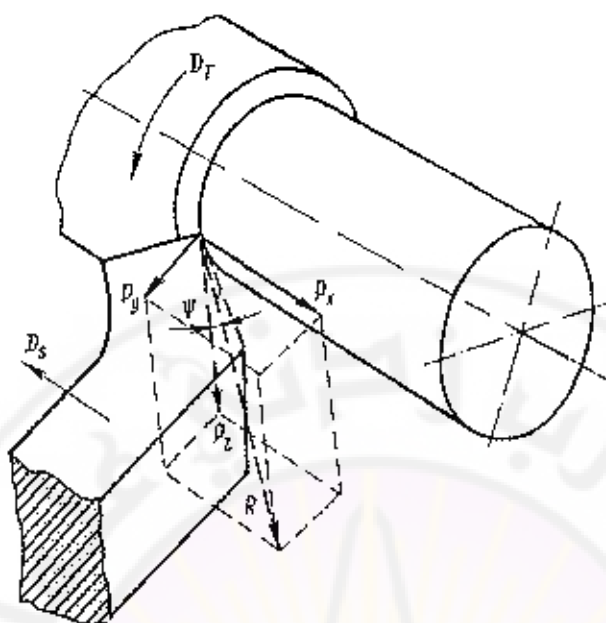
##### ٥-٤-١ قوى القطع عند عمليات الخراطة:

في عمليات الخراطة تحت ظروف القطع المعقدة يمكن تحليل المحصلة  $R$  للقوى المقاومة لآلة طبع إلى ثلاث مركبات مشتركة متعامدة (الشكل ٥-١٥):

$P_x$  - قوة القطع الأساسية التي تؤثر في اتجاه سرعة الحركة الأساسية؛

$P_y$  - قوة نصف قطرية متجهة إلى أعلى أداة القطع تعمل في المستوى الأفقي عمودياً على محور المشغولة؛

$P_z$  - قوة محورية تعمل موازية لمحور المشغولة في اتجاه معاكس لاتجاه التغذية.



الشكل (١٥-٥)

قوى القاطع عند عملية الخراطة

تجرى وفق القوة  $P_z$  حسابات المتانة والجساسة لأداة القاطع، وكذلك الاستطاعة المطلوبة لإنجاز عملية القاطع. ولكن الأكثر دقة إجراء الحسابات لأداة القاطع باعتبار التشوه الناتج عن الانحناء تحت تأثير القوى:

$$R' = (P_z^2 + P_y^2)^{1/2}$$

يستخدم عند تحديد تقوس المشغولة وكذلك متانة وجساسة عناصر آلة التشغيل القوة  $P_z$ ، أما متانة ميكانيزم التغذية فتحدد بالقوة  $P_x$ ، أثبت أنه عند خراطة الفولاذ الإنشائي والحديد الصب باستخدام قلم قطع فيه  $\phi = 45^\circ$ ,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$  يلاحظ أن نسبة مركبات القوى هي كما يلي:

$$P_y = (0.4 \div 0.5) P_z$$

$$P_x = (0.3 \div 0.4) P_z$$

أما عند خراطة الفولاذ المقاوم للحرارة فيمكن أن تكون القوة  $P_y$  أكبر من  $P_z$  . مثل  
 هذه النسب تلاحظ عند خراطة جميع المواد تقريباً باستخدام مقطع رايش صغير. عند  
 زيادة الزاوية  $\phi$  وخفض زاوية الجرف  $\gamma$  تنخفض النسبة  $P_y / P_z$  أما النسبة  
 $P_x / P_z$  فترتفع. غير أن القيم النسبية للقوى  $P_x$  و  $P_y$  ترتفع مع زيادة تاكسل أداة  
 القطع وخاصة عند تثلم الأداة على السطح الخلفي. يستخدم للتحديد الدقيق لنسب  
 القوى  $P_z$  ،  $P_y$  ،  $P_x$  العلاقات التجريبية.

القوى المحصلة  $R$  هي قطر متوازي المستطيلات وهي تساوي

$$R = (P_z^2 + P_y^2 + P_x^2)^{1/2}$$

$$R \approx (1.1 \dots 1.2) P_z \quad \text{أو}$$

وتكون الزاوية بين القوى  $R$  و  $R_z$  تساوي  $\psi = 25 \dots 40^\circ$

بينت الأبحاث التجريبية أنه تؤثر التغذية ومقدار عمق القطع على جميع مركبات القوى  
 وفق العلاقة :

$$P = C_p f^{x_p} S^{y_p}$$

مع خفض النسبة  $t/s$  ينخفض تأثير عمق القطع على القوة  $P_z$  بينما يرتفع تأثير  
 التغذية.

تعتمد قيمة المعامل الثابت  $C_p$  وكذلك القيم الأسية  $x_p, y_p$  على خصائص المعدن  
 المشغل والقيم الهندسية لأداة القطع وظروف التزيت واستخدام سوائل التبريد. وكمثال  
 على ذلك عند خراطة الفولاذ باستخدام أقلام من خلأط قاسية تكون المعادلات كما  
 يلي:

$$P_z = C_{p_z} t s^{0.75} v^{-0.15}$$

$$P_y = C_{p_y} t^{0.9} s^{0.6} v^{-0.3}$$



$$P_x = C_{p_x} t s^{0.5} v^{-0.4}$$

عند حراطة التشكيل باستخدام أقلام من خلائط قاسية يكون:

$$P_z = C_{p_z} B s^{0.75}$$

أما عند الفصل

$$P_z = C_{p_z} B s$$

حيث  $B$  طول الحد القاطع المشارك في عملية الحراطة.

**تأثير خواص المادة المشغلة على قوى القطع:**

كلما ارتفعت قساوة ومتانة المادة المشغلة زادت قوى القطع. وبالاتماد على ذلك

فإذا كانت القساوة  $HB'$  تقابلها القوة  $P'$  و  $HB''$  —  $P''$  يكون

$$\frac{P'}{P''} = \left( \frac{HB'}{HB''} \right)^q$$

$$P'' = P' \left( \frac{HB''}{HB'} \right)^q$$

يمكن من خلال هذه المعادلة تحديد أية قوى قطع عند تشغيل الفولاذ بقساوة  $HB''$  إذا

كانت القوة  $P'$  معروفة لفولاذ بقساوة  $HB'$ .

مثال عند تشغيل الحديد الصب ذي القساوة  $190HB$  وقوة القطع  $P'_z = 925N$  نحدد

$P''_z$  عند تشغيل حديد صب بقساوة  $241HB$  وفق :

$$P''_z = 925 \left( \frac{241}{190} \right)^{0.4} = 1018N$$

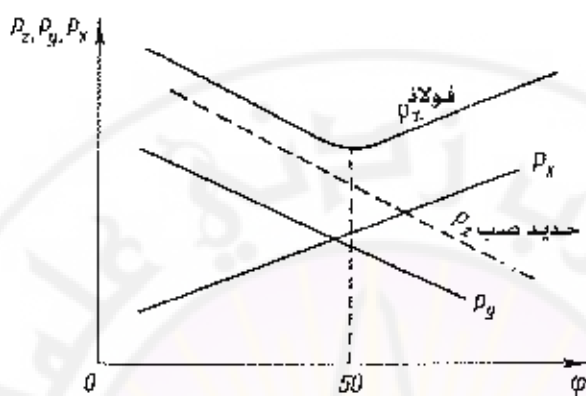
**تأثير زاوية الاقتراب الرئيسية  $\phi$  على قوى القطع:**

زيادة زاوية الاقتراب  $\phi$  عند تشغيل الحديد الصب تنخفض القوى  $P_z$  أما عند

تشغيل الفولاذ فإن القوة في البداية تنخفض ومن ثم (عند  $\phi = 50^\circ$ ) تزداد (الشكل

١٦-٥). نفس صفة العلاقة  $P_z = f(\phi)$  فإن زيادة  $\phi$  تؤدي إلى انخفاض عرض

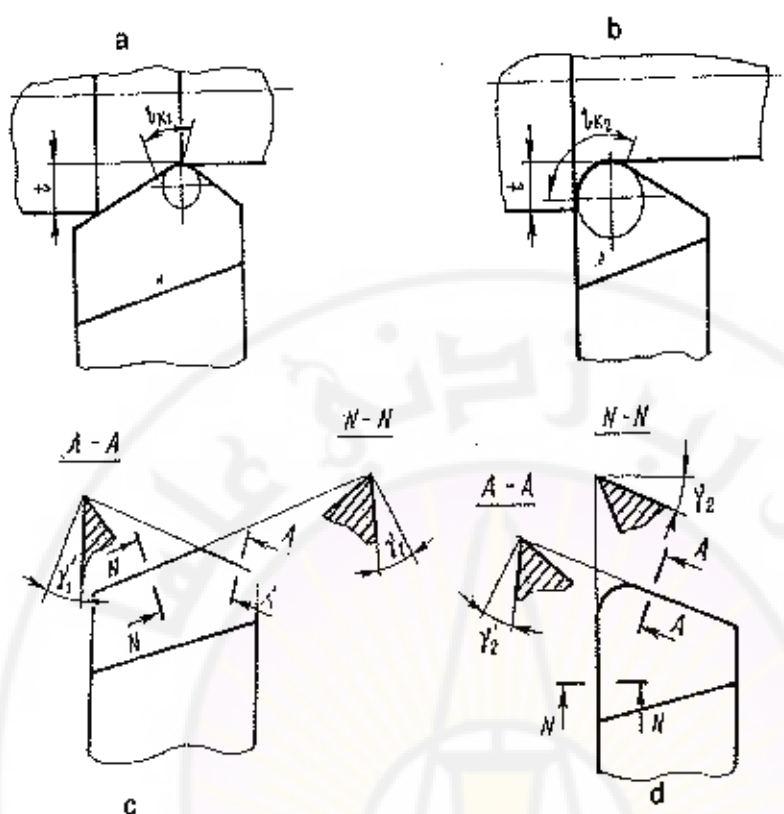
الرايش غير المقطوع  $b$  وزيادة سمك الرايش غير المقطوع  $a$  رغم بقاء التغذية وعمق المقطع ثابتين.



الشكل (١٦-٥)

تأثير زاوية الاقتراب الرئيسية على قوى المقطع

عند تغيير  $\phi$  و  $b$  فإن القوة  $P_z$  تنخفض. ويوافق زاوية اقتراب  $\phi$  كبيرة طول كبير من الجزء المنحني من الحد القاطع  $l_{k_2} > l_{k_1}$  وهذا يصعب عملية القطع ويسؤدي إلى زيادة قوة المقطع  $P_z$  (الشكل ١٧-٥- $a, b$ ) وخفض الزاوية  $\gamma_2$  في المقطع  $A-A$ ، وبالوقت نفسه تكون زوايا الجرف  $\gamma_1$  و  $\gamma_2$  في المقطع  $N-N$  متساوية عند قيم مختلفة للزاوية  $\phi$  (الشكل ١٧-٥- $d-c$ ) وهذا أيضاً يؤدي إلى زيادة القوة  $P_z$ .



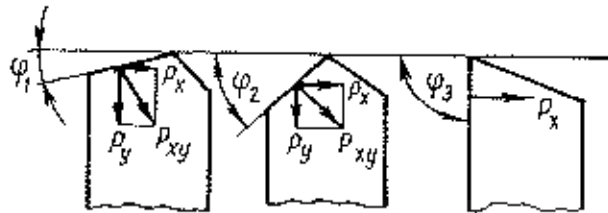
الشكل (٥-١٧)

تغير الرأس المكور للحد القاطع والزوايا  $\gamma$  مع تغير  $\varphi$

$$a, b - l_{k_1} > l_{k_1} \text{ , } c, d - \gamma'_1 > \gamma'_2$$

بالنتيجة زيادة الزاوية  $\varphi$  تؤثر بشكل معقد على القوة  $P_z$ . عند زاوية  $\varphi$  صغيرة يؤثر بشكل كبير على القوة  $P_z$  تغيير عرض وسماكة الرايش. وعند استخدام زاوية اقتراب  $\varphi > 50^\circ$  يبدي نصف قطر استدارة الحد القاطع وقيمة الزاوية  $\gamma'_2$  تأثيراً على قسوة القطع.

يفسر بشكل بسيط تأثير الزاوية  $\varphi$  على تغيير نسبة القوى  $P_x$  و  $P_y$  المؤثرة في المستوي الأفقي. بين الشكل ٥-١٨ أنه مع زيادة زاوية الاقتراب  $\varphi$  تزداد القوة  $P_x$  بينما القوة  $P_y$ ، وتنعدم القوة  $P_y$  عند زاوية الاقتراب  $\varphi = 90^\circ$ .



الشكل (٥-١٨)

تأثير زاوية الاقتراب على القوى  $P_y$  و  $P_x$

$$\phi_1 < \phi_2 < \phi_3$$

تأثير نصف قطر رأسي القلم  $r_s$ :

تغير زيادة نصف قطر رأس القلم ظروف القطع (الشكل ٥-١٩). في حال عدم تغيير قيم  $s, t$  فإن زيادة نصف قطر رأس القلم ترتفع قيم عرض الرايش وتنخفض سماكة الرايش. وهذا يؤدي إلى زيادة تشوه المعدن المقطوع وتخفيض زاوية الجرف الثانوية  $\gamma_1$ .

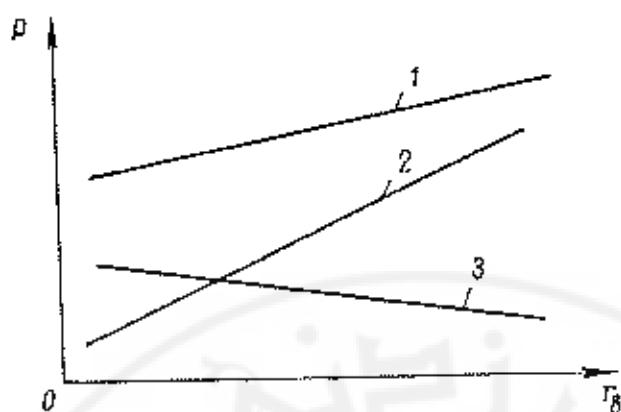
بعد التعرف على تأثير مختلف العوامل على قوى القطع يمكن وضع المعادلات العامة لحساب قوى القطع عند الخراطة كما يلي:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} v^{z_{P_z}} K_{P_z}$$

$$P_y = C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{z_{P_y}} K_{P_y}$$

$$P_x = C_{P_x} t^{x_{P_x}} s^{y_{P_x}} v^{z_{P_x}} K_{P_x}$$

حيث  $C_p$  - ثابت يعبر عن تحديد ظروف القطع لمعدن مشغل محدد.



الشكل (٥-١٩)

تأثير نصف قطر رأس القلم

أمثلة: استخدام أقلام قطع من الخلائط القاسية لخرطة فولاذ ذو مواصفات 180HB ، فإن  $\sigma_B = 650MPa$  ،  $C_{P_2} \approx 2700$  ؛ ويساوي  $C_{P_2}$  تقريباً عند استخدام أقلام تشكيل من الفولاذ سريع القطع 1900 ؛ وعند الفصل  $C_{P_2} \approx 2200$  ، وللحديد الصلب بقساوة 190HB تكون  $C_{P_2} \approx 900$  .

$K_p$  - معامل متعلق بعوامل مختلفة (معاملات التصحيح):

$$K_p = K_{HB} K_M K_\varphi K_\gamma K_{cool} K_h$$

حيث:

$K_M$  - معامل مجموعة المعادن المشغلة

$K_{HB}$  - معامل القساوة أو المتانة للمعادن المشغلة

$K_\varphi$  - معامل زاوية الاقتراب الرئيسية

$K_{cool}$  - معامل سوائل التبريد

$K_h$  - معامل اهتراء القلم.

تؤخذ المعاملات  $C_p$  و  $K$  والأس  $x, y, z$  من جداول خاصة في دليل عملية القطع.

### ٥-٤-٢ قوى القطع وعزم الفتل عند الثقيب:

نفرض أن القوة المؤثرة تنشأ في نقطة  $A$  من ريشة الثقيب (الشكل ٥-٢٠-٥).  
بتحليل هذه القوة إلى مركباتها الثلاثة التي تؤثر على كل حد قاطع. القوة  $P_x$  تشكل عزم فتل  $M_x$  الذي يتغلب على محور الآلة. وتؤثر القوة  $P_y$  وفق نصف قطر وتنتج عزم الفتل  $M_y$  فهي مع القوة  $P_z$  التي تؤثر على القسم العلوي من الآلة تشكلان القوة الأساسية أو قوة التغذية التي يتغلب عليها ميكانيزم التغذية. بالنتيجة يؤثر على ريشة الثقيب العزم  $M_x$  وقوة التغذية (القوة المحورية)  $P_0$ .

تحدد عزم الفتل بطريقة نظرية بالاعتماد على أنه يتكون  $M_x$  نتيجة قوى أولية تؤثر في الحدين القاطعين الرئيسين للريشة  $ab$  و  $ce$  (الشكل ٥-٢٠-٥)، وكذلك قوى الاحتكاك المؤثرة في موجهات الرايش. بهذا يجب معرفة أنه قيمة عزم الفتل  $M_x$  يحدد بشكل رئيسي بالقوى المؤثرة على الحدود القاطعة الرئيسية. نحدد في المقطع الطولي مساحة بسيطة من الريشة تساوي  $d_r s/2$ . يؤثر على هذه المساحة قوى عنصرية (أولية)  $pd_r s/2$  حيث  $p$  - قوى القطع النوعية. من المعروف أن قوى الضغط النوعية تزداد مع خفض مساحة القطع ويمكن أن يعبر عنها:  $p = A/S^\alpha$  عندها يكون العزم الأولي:

$$dM = pdr(S/2)r = ASrdr/2S^\alpha = BS^{1-\alpha}rdr$$

$$M_{kp} = 2 \int_{d/2}^{D/2} BS^{1-\alpha}rdr = BS^{\gamma_M} \frac{r^2}{2} \Big|_{d/2}^{D/2} = C_M S^{\gamma_M} D^{2_M}$$

حيث  $A$  و  $B = A/2$  و  $C_M = B/2$  قيم ثابتة.

$D$  - قطر ريشة الثقيب

$d$  - قطر الحد الازميلي للريشة :  $d \ll D$

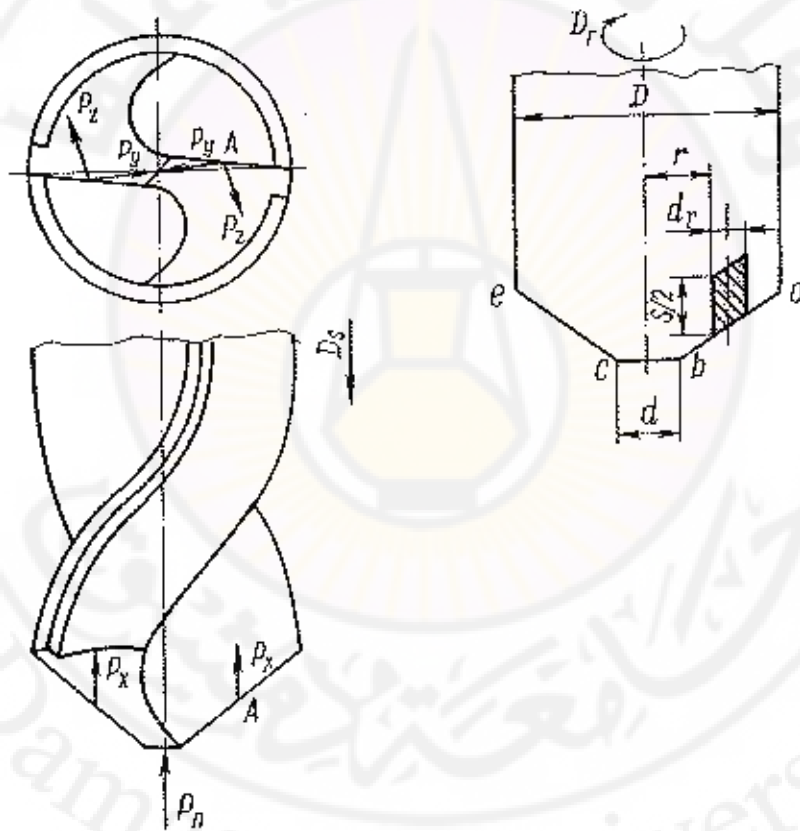
$$Z_M = 2$$

بتكامل القوى الأولية المحورية  $dp$

$$P = \int_{d/2}^{D/2} p \frac{S}{2} dr$$

نحصل على : القوة الضاغطة المحورية:

$$P_o = C_p S^{y_p} D^{z_p}$$



الشكل ( ٥-٢٠ )

مخطط القوى المؤثرة على ريشة الثقب

أدت التجارب باستخدام الدينامومتر عند تثقيب المواد باستخدام ريش بأقطار مختلفة وتغذية مختلفة إلى الحصول على معادلات تجريبية تتوافق بشكل جيد مع النظرية وتستخدم لحساب العزم  $M_t$  والقوة  $P_0$ :

$$M_t = C_M S^{y_M} D^{z_M} K_M$$

$$P_0 = C_P S^{y_P} D^{z_P} K_P$$

حيث  $C_M, C_P$  - معاملات تحدد ظروف الثقوب وخواص المادة المرجعية، (الجدول ٥-١)

$K_M, K_P$  - معاملات التصحيح المتعلقة بتغير ظروف التشغيل عند تثقيب الفولاذ

بريشة من الفولاذ سريع القطع P9 يكون:

$$M_t = 0,345 D^2 \cdot S^{0,3} \cdot N \cdot m$$

أما عند تثقيب الحديد الصلب:

$$P_0 = 570 D S^{0,8} \cdot N$$

(١) العزم  $M_t$ :

80% يقع على الحدود القاطعة الرئيسية.

8% يقع على حدود العتبة.

12% تصرف على الاحتكاك بين الرايش وقنوات التوجيه والرايش مع السطح

المشغل.

(٢) القوة  $P_0$ :

40% تصرف على الحدود القاطعة؛

57% تصرف على العتبة،

3% تصرف على احتكاك الرايش بالسطح المشغل والرايش بقنوات التوجيه.



يؤثر الشكل الهندسي لريشة التثقيب على  $P_0$  والعزم  $M_r$  . مع زيادة زاوية الصعود للمجرى الحلزوني (زاوية الالتفاف)  $\omega$  (الشكل ٥-٢١-١) تزداد زاوية الجرف  $\gamma$  وهذا يسهل عملية تشكيل الريش وتنخفض  $M_r$  و  $P_0$  ويلاحظ هذا الانخفاض بقيمة  $M_r$  و  $P_0$  عند زيادة زاوية الصعود للمجرى الحلزوني  $\omega$  حتى  $30^\circ$  . الاستمرار في تغيير  $\omega$  لا يؤدي تغيراً ملحوظاً في قيم  $M_r$  و  $P_0$  .

بالاعتماد على زاوية رأس الريشة (القمة)  $2\varphi$  تتغير القوة  $P_0$  والعزم  $M_r$  بسبب عرض وسماكة القطع. مع زيادة  $\varphi$  ينخفض العزم  $M_r$  بينما تزداد القوة  $P_0$  (الشكل ٥-٢١-٢). سمك الرايش غير المقطوع للشفة الواحدة من الريشة ينقص مع زاوية القمة  $2\varphi$  . الرايش الرقيق يكون مشوهاً بشكل أكمل ولذلك فسيان قوة الضغط المحوري  $P_0$  تزداد مع إنقاص الزاوية  $2\varphi$  والعكس بالعكس.

يؤثر طول الحد الازميلي  $k$  بشكل أكبر على قوة الضغط المحوري  $P_0$  من تأثيره على عزم المقاومة  $M_r$  (الشكل ٥-٢١-٣).

كلما زاد طول الحد الازميلي ارتفع العزم وخاصة الضغط المحوري، ولذلك يرفق العصب لتخفيض  $P_0$  و  $M_r$  . هذه الطريقة تقصر الحد الازميلي وتقلل أيضاً زاوية المقطع عند الحد القاطع قرب محور الريشة.

تؤثر خواص المعدن المشغل على القوة  $P_0$  والعزم  $M_r$  كلما زاد إجهاد الشد  $\sigma_B$  أو القساوة HB للمعدن المشغل كبرت قوة الضغط المحوري وعزم القساوة المقاومة  $M_r$  لعملية الثقب، وهذه العلاقات تظهر هذا التأثير:

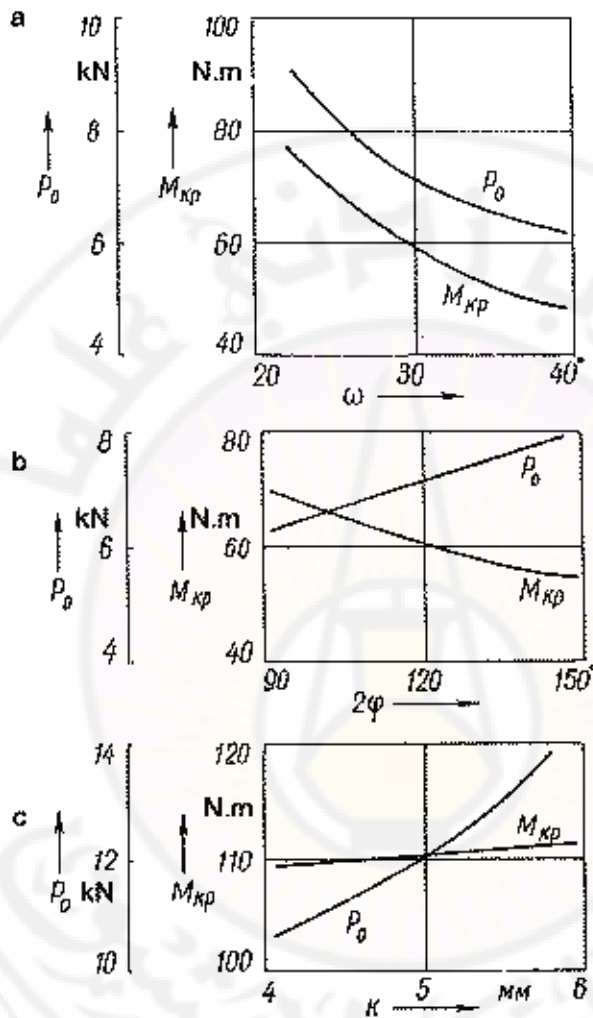
$$M_{kp} = C_1'' \sigma_B^{qM}$$

$$P_0 = C_2'' \sigma_B^{qP}$$

$$M_{kp} = C_1' HB^{qM}$$

$$P_0 = C_2' HB^{qP}$$

قيمة الثوابت والمؤشرات الأسية تعطى في جداول خاصة، عند تنقيب الفولاذ بريشة  
من الفولاذ سريع القطع يكون  $qp = qM = 0,75$ .



الشكل (٥-٢١)

علاقة  $M_{кр}$  و  $P_0$

(a) بزاوية الصعود للمجرى الحلزوني  $\omega$  (زاوية الالتفاف)، (b) زاوية رأس الريشة  
 $2\varphi$  (زاوية القمة)، (c) طول الحلقة العرضية  $k$  (الحد الازميلي)

جدول (٥ - ١)

| المعاملات والأسات |       |       |       |       |       | معدن المشغولة والريشة                                           |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------------------------------------|
| $Z_M$             | $Z_P$ | $Y_M$ | $Y_P$ | $C_M$ | $C_P$ |                                                                 |
| 2                 | 1     | 0,8   | 0,7   | 34,5  | 68    | فولاذ ذاتي $\sigma_s = 75 \text{ kg/mm}^2$<br>بفولاذ سريع القطع |
| 2,2               | 1,2   | 0,8   | 0,75  | 12    | 42    | حديد صب $HB = 215$ بفولاذ<br>سريع القطع                         |

يؤثر كل من قطر الريشة ومقدار التغذية على قوة الدفع المحوري  $P_0$  والعزم  $M$ ، فكلما كبر قطر الريشة ومقدار التغذية في اللفة الواحدة كان المقطع العرضي للبرايش غير المقطوع أكبر وكانت القوة المقاومة لتشوه الريش أكبر وكبرت بالتالي القوة  $P_0$  والعزم  $M$ .

بينت الأبحاث التجريبية أن لقطر الريشة أثراً أكبر في زيادة القوة  $P_0$  والعزم  $M$  من مقدار التغذية، والسبب هو أن قطر الريشة يظهر وكأنه يمثل عمق القطع في عملية التقب. وكما لعمق القطع تأثير كبير على القوى المؤثرة في القطع أكبر من مقدار التغذية كذلك لقطر الريشة. علاوة على ذلك فرغم أن مقدار التغذية يؤثر على قيم القوة  $P_0$  والعزم  $M$  بالدرجة نفسها تقريباً، فإن للقطر أثراً أكبر بشكل معتبر على العزم منه على القوة. وهذا توضحه الحقيقة بأنه مباشرة مع زيادة القوى المؤثرة على العزم الكلي المقاوم، سوف يزداد أيضاً الذراع الذي يؤثر عليه القوة (مع زيادة القطر). الاختلاف بين تأثير قطر الريشة وبين مقدار التغذية ثم أخذه بعين الاعتبار في أس معادلات حساب التغذية  $P_0$  والعزم  $M$ . إن استعمال سوائل القطع المناسبة يؤدي إلى تخفيض القوة  $P_0$  والعزم  $M$  بحوالي 10%.....30% للفولاذ و 18%.....10% للحديد الصب و 30%.....40% لسبائك الألمنيوم.

مع زيادة اهتراء الحد القاطع للريشة تزداد القوة  $P_0$  والعزم  $M_r$ . وبالمقارنة مع ريشة مجلوجة فإن استعمال ريشة مثلمة يزيد القوة  $P_0$  والعزم  $M_r$  إلى 10.....16%.

زيادة سرعة القطع تؤدي إلى زيادة القوة  $P_0$  والعزم  $M_r$  ثم ينقصان مع زيادة سرعة القطع.

### ٥-٣ قوى القطع عند التفريز

إن القوة  $R_1$  المحصلة لقوى المقاومة لقطع طبقة من المشغولة بواسطة مقطع تفريز ذي بخار مستقيمة يمكن تحليلها إلى المركبات التالية:

$P_2$  - القوة المحيطية (المماسية) التي تؤثر بشكل مماسي لمسار حركة أداة القطع،

$P_r$  - القوة القطرية (الشكل ٥-٢٢).

وبالوقت نفسه يمكن تحليل القوة المركبة  $R_1$  إلى قوة أفقية  $P_R$  وقوة رأسية  $P_v$ . إذا كانت أداة التفريز تملك أسناناً حلزونية، فإنه بالإضافة إلى القوة  $R_1$  المؤثرة على الأسنان تنشأ قوة محورية  $R_x$  عامودية على محور أداة التفريز. وتكون المحصلة في هذه الحالة تساوي:

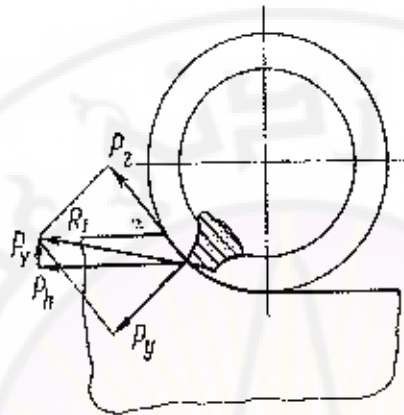
$$R = (P_x^2 + R_1^2)^{1/2}$$

تكون القوة  $P_2$  الأساسية في تشكيل الرايش عند التفريز. يحدد بها الاستطاعة الفعالة، ويجري حساب عناصر ميكانيزمات الحركة الأساسية. تؤثر القوة القطرية  $P_r$  بضغط على محامل عمود الدوران ويحني سياق التفريز وباستخدام القوة الأفقية  $P_R$  والمسماة قوة التغذية، وتحسب عناصر ميكانيزم التغذية وأجهزة تثبيت المشغولة. تؤدي هذه القوة إلى اهتزاز عند وجود خلوص بين أزواج اللولب - الصامولة. القوة الرأسية  $P_v$  تحاول نزع المشغولة عن الطاولة وترفع الطاولة عن موجهاتها.

تعطي معادلة القوة المحيطية والاستطاعة عند التفريز في جداول أنظمة التفريز. على سبيل المثال عند التفريز بأداة أسطوانية أو طرفية أو قرصية أو مقطعات من فولاد

سريع القطع وتشغيل الفولاذ الإنشائي ذي مواصفات  $\sigma_R = 750MP_a$  ، 215HB  
تكون معادلة حساب القوة المحيطة:

$$P_z = 682t^{0,86} S_z^{0,72} BZD^{-0,86}$$



الشكل (٥-٢٢)

مخطط القوى المؤثرة على أسنان أداة تفريز أسطوانية

من خلال تحليل العلاقة في حالة التشغيل باستخدام أداة تفريز أسطوانية (مستوية) يمكن التوصل إلى النتائج التالية:

(١) تتناسب القوة  $P_z$  طردياً مع عرض أداة التفريز  $B$  وعدد أسنان أداة التفريز  $Z$ ،

(٢) يكون تأثير التغذية على قوة القطع مثل ما هو في عملية الخراطة، وتكون المعاملات الأسية قريبة من 0,75 ،

(٣) تكون المعاملات الأسية عند عمق قطع  $x_p$  أقل من الواحد كما هو في حالة الخراطة أي  $x_p = 1$  . ويفسر هذا بأن عمق القطع عند التفريز والخراطة هو أساس متغيرات عملية القطع. فإذا كان عند الخراطة عمق القطع  $x$  يعبر عن

عرض القطع، فإنه عند التفريز يحدد عمق القطع طول قوس القطع أو زاوية التماس الكلية للسن  $\delta$  وأيضاً السماكة الوسطية للطبقة المنزوعة. ولهذا مع زيادة عمق القطع تنخفض قوة القطع الموضعية.

(٤) مع زيادة قطر أداة التفريز  $D$  فإن قوة القطع تصبح أقل بسبب انخفاض عدد الأسنان التي تعمل في وقت واحد عند ثبات  $B, f, Z$ . مع زيادة قطر أداة التفريز  $D$  تنخفض زاوية التماس  $\delta$  بينما تبقى الزاوية بين الأسنان  $\eta = 360^\circ / Z$  ثابتة، أي ينخفض عدد الأسنان العاملة في وقت واحد، مع زيادة  $D$  تنخفض سماكة القطع، وبالتالي مساحة المقطع العرضي للمعدن المقطوع وقوة القطع. وذلك لأن  $\alpha_{\max} = \delta \cdot \sin \delta$  وعند قطر كبير لأداة القطع تنخفض زاوية التماس  $\delta$  وبالتالي تنخفض  $\alpha_{\max}$ .

تحدد قوى القطع الأخرى عند التفريز عادة بنسبة من القوة المحيطة  $P_z$ . عند التفريز العادي (التصاعدي) باستخدام أداة تفريز أسطوانية بأسنان مستقيمة تكون النسب كما يلي:

$$P_y = (0,4.....0,6)P_z$$

$$P_h = (1,1.....1,2)P_z$$

$$P_v = (0,2.....0,3)P_z$$

وللتفريز المسابر (الانحداري)

$$P_y = (0,4.....0,6)P_z$$

$$P_h = -(0,8...0,9)P_z$$

$$P_v = (0,7.....0,9)P_z$$

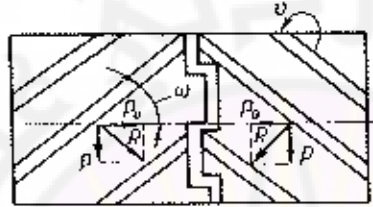
وللتفريز الجانبي المتناسق

$$P_y = (0,3.....0,4)P_z$$

من الضروري عند التفريز بأداة ذات أسنان لولبية الأخذ بالاعتبار القسوة المحورية  $P_x$  والتي تعتمد على زاوية اللولبة  $\omega$

$$P_x = (0,35 \dots 0,55) p_z$$

ومن الأفضل إزالة تأثير القوة المحورية، ويتم ذلك باستخدام أداة تفريز مزدوجة مع اتجاهات مختلفة للولبة (الشكل ٥-٢٣)



الشكل (٥-٢٣)

مخطط تأثير قوى مقطع تفريز مجمع، معيار حلزونية في اتجاهات مختلفة

تؤثر بشكل كبير على قوى القطع زاوية الجرف  $\gamma$  للأسنان وزاوية الاقتحام  $\phi$ . كلما كانت الزاوية  $\gamma$  أكبر كانت  $P_z$  أصغر. أثبت تجريبياً أنه كلما زادت زاوية الجرف  $\gamma$  بمقدار درجة واحدة تنخفض القوة  $P_z$  بمقدار 1,5%. وإذا كان لأداة التفريز الأسطوانة  $\gamma = 10^\circ$  و  $P_z = 1,0$  فإنه عند  $\gamma = 0^\circ, 20^\circ, -10^\circ$  فيكون 0,87؛ 1,12؛ 1,26  $P_z$ .

إن تأثير زاوية الاقتحام  $\phi$  على القوة  $P_z$  عند التفريز الجانبي معقد. ترتفع القوة  $P_z$  عند قيم مرتفعة وقيم منخفضة للزاوية  $\phi$ . وباعتبار أنه عند  $\phi = 60^\circ$  تكون  $P_z = 1$  فإنه عند  $30^\circ, 90^\circ, 45^\circ$  تكون  $P_z = 1,15, 1,14, 1,06$ . يفسر ذلك أنه عند قيم مختلفة للزاوية  $\phi$  تتغير سماكة وعرض القطع واتجاه خروج الريش وظسوف قطع أخرى، وبنتيجة جمع التأثيرات المختلفة هذه تلاحظ التغيرات في قيمة القوة  $P_z$ .

## ٥-٥ - عمل وطاقة القطع:

يحسب بشكل عام عمل القطع (جول) من المعادلة:

$$W = P_z L$$

حيث  $P_z$  - قوة القطع المؤثرة باتجاه سرعة القطع بالنيوتن  
 $L$  - المسافة التي تقطعها أداة القطع بالمتر.

يصرف عمل القطع على التشوه والاحتكاك على السطح الأمامي والخلفي وفق التناسب: تشوه 55% احتكاك وجه أمامي 35% خلفي 10% إذا علمنا المسافة التي تقطعها أداة القطع خلال دقيقة يمكن أن نحصل على العمل المصروف خلال هذا الوقت من المعادلة:

$$W = P_z \cdot v = P_c v_c + F_n v_n + F_f v_f$$

حيث  $v$  - سرعة القطع  $m/min$ .

$P_c$  - قوة القص أو القوة في مستوى القص  $N$ .

$v_c$  - سرعة القص  $m/min$ .

$F_n$  - قوة الاحتكاك على السطح الأمامي للأداة  $N$ .

$v_n$  - سرعة حركة الريش على السطح الأمامي للأداة  $m/min$ ;  $v_n = v / k_1$ .

$F_f$  - قوة الاحتكاك على السطح الخلفي للأداة  $N$ .

$v_f$  - سرعة حركة السطح المشغل بالنسبة للسطح الخلفي لأداة القطع  $m/min$ .

$v_f = v$  ومعرفة قوة القطع يمكن تحديد الطاقة بالكيلووات الضرورية لعملية القطع

وتسمى بالطاقة الفعالة لأنها لا تحتوي على الطاقة المصروفة للتغلب على قوى

الاحتكاك في ميكانيزم الآلة.

عند الحراطة:

$$N_p = N_{P_z} + N_{P_f} + N_{P_c}$$



$$N_p = \frac{P_z \cdot v_z}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_y \cdot v_y}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_x \cdot v_x}{60 \cdot 10^3}$$

حيث  $P_z$  ،  $P_y$  ،  $P_x$  - قوى القطع  $N$  ؛

$v_z$  - سرعة القطع  $m/min$  ؛  $v_z = v$  ؛

$v_y = 0$  - سرعة حركة الأداة في الاتجاه القطري  $m/min$  ؛

$v_x$  -- سرعة التغذية  $m/min$   $v_x = \frac{v_s}{(60 \cdot 10^3)}$  ؛

وبسبب أن  $v_x$  قليلة جداً بالمقارنة مع سرعة القطع إذاً يمكن إهمال الحد الثالث مسن المعادلة السابقة.

وعلى سبيل المثال: عند الخراطة بسرعة  $v = 30 m/min$  و  $s = 0,3 mm/r$  و

$n = 800 r.p.m$  و  $v_y = 0,24 m/min$  تكون:

$$N_p = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 10^3}$$

وبتحديد الاستطاعة ( الطاقة ) الفعالة يمكن إيجاد الطاقة الضرورية للمحرك الكهربائي للآلة:

$$N_m = \frac{P_z \cdot v}{(60 \cdot 10^3 \cdot \eta \cdot k_n)}$$

حيث:  $\eta$  - مردود آلة التشغيل

$k_n$  - معامل التحميل الدوري وفي معظم الحالات  $k_n = 1,3 \dots 1,5$  وأحياناً

$k_n = 2$ .

عند الثقب يمكن تحديد الطاقة بمعرفة عزم الفتل والقوة المحورية وتكون:

$$N_p = N_f + N_s = M_f \cdot \frac{n}{9750} + P_0 s \cdot \frac{n}{(60 \cdot 10^3)}$$

حيث  $N_f$  ،  $N_s$  - الطاقة المطلوبة لإدارة الريشة والتغذية.

وبما أن  $N_s = (0,5...1,5)\%$  من  $N_t$  فيمكن أن تكتب المعادلة :

$$N_p = M_t \cdot n / 9750$$

وباعتبار المردود العام للآلة ومعامل التحميل الدوري يساوي 1,3 تكون طاقة المحرك الكهربائي لآلة التنقيب

$$N_m = N_p / (1,3\eta)$$

عند التفريز يمكن حساب الطاقة بمعرفة  $P_z$  و  $v$  :

$$N_p = P_z \cdot v = C_N \cdot f^{X_p} \cdot S_z^{Y_p} \cdot B \cdot Z \cdot n \cdot D^{q_w}$$

وتكون الطاقة المعروفة على التغذية لا تتعدى 15% من طاقة القطع، ولهذا تكون طاقة المحرك.

$$N_m = 1,15 N_p / (\eta \cdot k_n)$$

حيث :  $\eta$  مردود الآلة و  $k_n$  - معامل التحميل الدوري ويساوي 1,3...1,5 عند التفريز الأسطواني أو المسابر بأداة مصنوعة من الفولاذ سريع القطع والمعدن المشغل من الفولاذ الإنشائي 215HB تكون الطاقة :

$$N_p = 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot f^{0,86} \cdot S_z^{0,72} \cdot B \cdot Z \cdot n \cdot D^{0,14}$$

عند التفريز الجانبي بأداة من الخلائط القاسية والمعدن المشغل من الحديد الصلب 190HB تكون الطاقة:

$$N_p = 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot f^{0,9} \cdot S_z^{0,74} \cdot B \cdot Z \cdot n \cdot D^{0,17}$$

إن العمل النوعي للقطع  $a_p$  هو مؤشر منطقي لعملية التشغيل (وهو يساوي نسبة العمل المصروف  $v$  على قطع حجم محدد من المعدن). يعتمد العمل النوعي للقطع على نظام القطع و هندسة أداة القطع: كلما كانت سرعة القطع أكبر وكذلك سماكة القطع وزاوية الجرف أكبر كان العمل النوعي أقل .

وبالاعتماد على طريقة التشغيل فإن قيمة العمل النوعي تتغير في مجال معين (الجدول ٢-٥)

الجدول ٢-٥ المؤشرات التكنولوجية الأساسية لأنواع تشغيل مختلفة

| طريقة التشغيل | مساحة الطبقة المقطوعة<br>$mm^2$ | العمل النوعي<br>المصروف على قطع المعدن<br>$kj/cm^3$ | سرعة القطع<br>$m/sec$ | الإنتاجية<br>$cm^3/sec$ |
|---------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| الخراطة       | 1,0                             | 0,5...0,7                                           | 1,5...7,5             | 0,05...50               |
| التخليق       | 0,5                             | 2,5...3,7                                           | 0,01-1,0              | 0,004-0,1               |
| التفريز       | 0,3                             | 5,0...7,5                                           | 2-6                   | 0,002-1                 |
| توسيع الثقوب  | 0,1                             | 12...30                                             | 0,15-1,6              | 0,005-0,5               |
| الجلخ         | 0,00005                         | 55...70                                             | 25-50                 | 0,005-0,02              |

#### ٦-٥- الاهتزازات في النظام التكنولوجي:

تشأ خلال عملية القطع اهتزازات في مجموعة الآلة - الدليل - أداة القطع - المشغولة وتسمى الاهتزازات في النظام التكنولوجي. يمكن أن يقوم النظام التكنولوجي بتشغيل سطوح عناصر آلات محددة أو أجزاء من عمليات تشغيل، وتدخل بعدها عناصر الآلات هذه في تجمع الآلات. إن السبب الفيزيائي في نشوء التذبذب عند قطع المعادن هو موضوع بحث علمي ذو أهمية كبيرة.

وبينت الخبرات أنه عند ظروف تشغيل مختلفة يمكن أن تظهر التذبذبات في عناصر الآلات وأدوات القطع بترددات مختلفة. تملك المشغولة ترددات منخفضة أما أداة القطع فيكون تذبذبها بترددات مرتفعة. وعند ظهور الاهتزازات تنخفض جودة سطح المشغولة ويزيد اهتراء أداة القطع وعناصر الآلة، وتفسد الوصلات في المثبتات.

تنشأ عند عمل آلة التشغيل أنواع مختلفة من الاهتزازات: قسرية، بارامترية، غير مستمرة، محرضة ذاتياً أو ذات حدث ذاتي.

### الاهتزازات القسرية:

تنشأ الاهتزازات القسرية بفعل القوى المتوافقة (المتوافقة) الإشارة التي يمكن أن تكون:

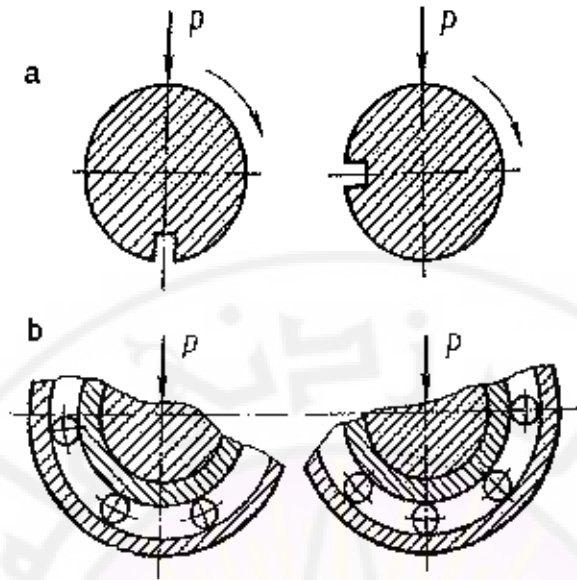
(١) قوى متغيرة تؤثر على المجموعة كنتيجة للقطع غير المتواصل، كحراطة عمود يحتوي على بحري، أو بسبب تسامح التشغيل غير المنتظم أي سماكة رايش غير منتظمة.

(٢) القوى النابذة وعطالة الكتلة غير متزنة الدوران (المشغولة، ظرف المخروطية، البكرات، وغيرها).

(٣) قوى الصدم الناتجة عن الأخطاء أو أخطاء السباكة على السطوح المشغلة (تآكل الأجزاء في عناصر الآلة، أخطاء تصنيع المسننات وغيرها). وللتخلص من هذا النوع من الاهتزازات (الاهتزازات القسرية) يكفي إزالة أسباب حدوث هذه الاهتزازات.

### الاهتزازات البارامترية:

تنشأ هذه الاهتزازات عند وجود تغير في أحد البارامترات التي تؤدي إلى تغير في القوى. تكون عادة هذه البارامترات عبارة عن تبدل في حساء عقدة أو عناصر في الآلة. مثال عن ذلك إن وجود بحري يحاير على عمود أو تغير حساء محمل انزلاقي (الشكل ٥-٢٤) يؤدي إلى تغير في انحناء العمود عند الدوران وبشكل دوري رغم أن القوى الخارجية ثابتة. تكون الاهتزازات البارامترية من حيث تغير الحساء قريبة من الاهتزازات القسرية.

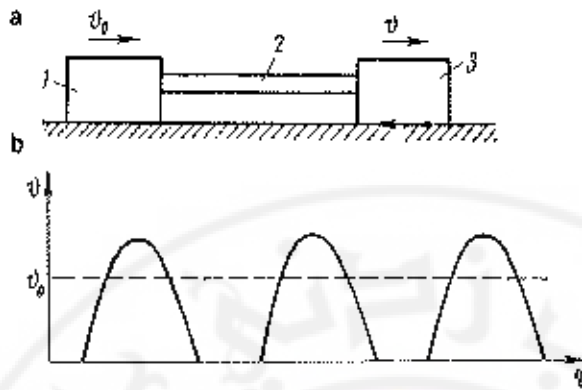


الشكل ٥-٢٤

تغير جساءة عمود مع مجرى (a) ومحمل انزلاقي (b)

### الاهتزازات غير المستمرة (المتقطعة):

تنشأ الاهتزازات المتقطعة عند التحرك البطيء لعناصر نظام الآلة. يبين الشكل ٥-٢٥ آلية ظهور هذا النوع من الاهتزازات. عند سرعة إزاحة صغيرة  $v_0$  تحدث العقدة القائدة 1 في البداية تشوهاً لعقدة النقل 2 دون تحريك العقدة المقادة 3 ما لا يستم التغلب على قوة المقاومة  $F_0$ . وفي لحظة بدء الحركة تنخفض فجأة قوة الاحتكاك بسبب أنها أقل من قوة الاحتكاك الساكن. وبهذا فإن العقدة المقادة (تحت تأثير الطاقة الكامنة لعقدة النقل) تتزاح بسرعة إزاحة  $v$  ويتوقف، وبعدها تستمر دورة هذه العملية. تؤدي الاهتزازات المتقطعة إلى إزاحات غير مستقرة للعقد، ويمكن أن تؤدي إلى حمولات ديناميكية على عناصر الآلة وأداة القطع وإلى أخطاء في تشغيل المشغولة.



الشكل (٥-٢٥)

مخطط نشوء الاهتزازات المتقطعة (a)

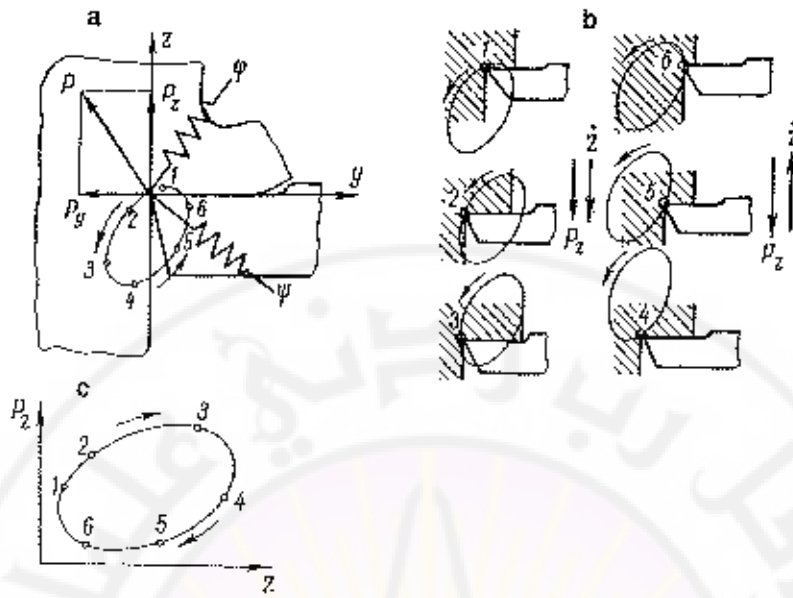
تغير سرعة الإزاحة مع الزمن (b)

### الاهتزازات المحرصة ذاتياً:

إن الاهتزازات المحرصة ذاتياً أكثر تعقيداً، وتحدثذبذبة أكثر اختلافاً في عملية قطع المعادن. وتنشأ في كل أنواع عمليات قطع المعادن. إن أي اضطراب في نظام القطع (دخول أو تراجع أداة القطع عن المشغولة، تسامح التشغيل غير المنتظم، عدم انتظام خواص المعدن المشغل، التقليل القطري للمشغولة أو أداة القطع) يؤدي إلى نشوء اهتزازات متضائلة في النظام. يرافق عادة هذه الاهتزازات تغير في القطع (عادة سماكة الريش غير المقطوع) وسرعة القطع أو سرعة انزلاق الريش على السطح السويحي لأداة القطع. يؤدي تغير سمك الريش وسرعة القطع إلى تغير في قوة القطع ومركبتها. وفي ظروف محددة يمكن للاهتزازات الناشئة أن تتحول إلى اهتزازات غير متضائلة أي إلى اهتزازات محرصة ذاتياً. كما يؤدي تغير قوى القطع إلى تولد طاقة تدعم هذه

الاهتزازات. في أنظمة التشغيل المرن هناك أسباب عديدة لنشوء الاهتزازات المحرصة ذاتياً، وإن أكثر ما يؤثر على الاهتزازات الناشئة هو الآلية الأولية والمؤلفة من الآلة والمثبتات وأداة القطع والمشغولة التي تحتوي على عدة درجات حرية في عملية القطع والعلاقة الفعالة بين القطع وسرعة القطع .

يؤدي وجود درجات حرية كثيرة في النظام إلى أن اهتزاز أداة القطع بالنسبة للمشغولة هو نتيجة انزلاق الوصلات بين بعضها. في النظام المؤلف من درجتي حرية يتراب اهتزازين بحركة وفق المحاور  $\psi, \phi$  (الشكل ٥-٢٦-٥). ويوجد بين هذين الاهتزازين قص مع الزمن، ولهذا فإن المسار الحركي النسبي للأداة والمشغولة يأخذ شكل منحني مغلق ونظرياً شكل القطع الناقص. تغير حركة الأداة وفق المسار 1-2-3-4-5-6 سماكة القطع، وبالتالي قوة القطع، وبهذا عند الحركة باتجاه تأثير قوة القطع تكون سماكة الطبقة المنزوعة أكبر منه عند حركة أداة القطع باتجاه معاكس لتأثير قوة القطع ( الشكل ٥-٢٦-٥). ولهذا في الوضعية 3,2,1 يكون اتجاه الاهتزاز موافقاً لاتجاه قوة القطع ، أما في الوضعية 6,5,4 يكون الاتجاه معاكساً. ولأنه في الوضعية 1-2-3 تكون قوة القطع وسطياً أكبر منها في الوضعية 4-5-6 فإن قوة القطع تؤدي عملاً إيجابياً بدعم النظام المتحرك، وتمثل مساحة المنحني (قوة القطع- حركة الأداة) هذا العمل (الشكل ٥-٢٦-٥). تزداد الاهتزازات حتى تصبح اهتزازات محرصة ذاتياً مستقرة بترددات تحددها خواص النظام (آلة- مثبتات --- أداة قطع - المشغولة).



الشكل (٥-٢٦)

المسار النسبي لحركة أداة القطع والمشغولة  
عند الاهتزازات المحرصة ذاتياً ومخطط عمل قوة القطع

تزيد الاهتزازات المحرصة ذاتياً من تباطؤ تغير قوة القطع بسماكة القطع. يلاحظ هذا التباطؤ عند تشغيل مختلف المواد. يكون التباطؤ في مجال نظام القطع الذي يستخدم أدوات قطع من الفولاذ سريع القطع والمخلائط القاسية في حدود 3-5 ميلسي ثانية ويمكن تحديده بالمعادلة التجريبية

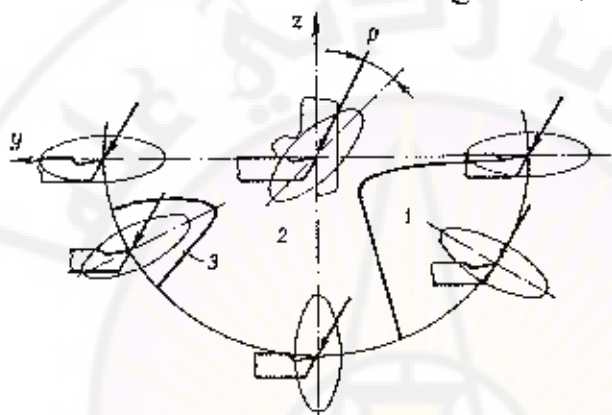
$$\Delta \tau = -1 + 2,6K_a$$

حيث  $K_a$  - معامل تسميك الريش.

عند سماكة قطع ثابتة  $a = const$  تحدد ظروف توازن النظام بثبات قوة القطع.



يوجد ثلاث حالات للنظام التكنولوجي وذلك بالاعتماد على وضعية محاور نظام آلة - مثبتات - أداة قطع - المشغولة (الشكل ٥-٢٧). وهذه الحالات هي: عملية قطع مستقرة، وعمليات الاهتزازات المحرصة ذاتياً عند القطع ومنطقة دفع وهي نتيجة النظام الديناميكي اللادوري غير المستقر للألة. وتنشأ في هذه الحالة نتيجة الدفع انحرافات متزايدة لأداة القطع في اتجاه واحد، وتزداد في عمق المعدن، وفي النهاية يحدث كسر إما في أداة القطع أو المشغولة.



الشكل (٥-٢٧)

تأثير وضعية محور النظام على القطع

- ١- منطقة الاهتزازات المحرصة ذاتياً، ٢- منطقة عملية القطع المستقرة،
- ٣- منطقة الدفع

يؤدي تغير قوى الاحتكاك بين الرايش والسطح الأمامي لأداة القطع وقوى الاحتكاك بين المعدن المشغل والسطح الخلفي لأداة القطع إلى نشوء الاهتزازات المحرصة ذاتياً. ومن المعروف أنه عند سرعات قطع عالية تنخفض قوى الاحتكاك. تنخفض قوة الاحتكاك بزيادة تسارع الانزلاق، ويؤدي الاستمرار بالزيادة إلى حد لا يتقبل النظام

بالعطالة إلى وضعية تتغلب فيها الروابط المرنة الخارجية على القوة التي تبطل الانزلاق. تحدث هذه الظاهرة لأنظمة الاهتزازات المحرصة ذاتياً التي تجري بترددات عالية. تؤدي عملية القطع وفق أثر الاهتزاز السابق لأداة القطع إلى تقوية ثانوية للاهتزازات المحرصة ذاتياً بسبب تغير سماكة القطع وزاوية القطع عند اهتزاز أداة القطع (الشكل- ٥-٢٨). في حالة أن طاقة الاضطراب للتذبذب أقل من طاقة مقاومة النظام تختفي الاهتزازات. وفي الحالة المعاكسة تؤدي عملية القطع، ومنه أثر التشغيل، إلى اهتزازات قسرية بترددات مختلفة تساوي ترددات الاهتزازات الذاتية للنظام. ونتيجة ذلك ما يحدث عند عمليات القطع وفق أثر التشغيل يؤدي إلى إثارة ثانية، ويزيد من شدة الاهتزازات المحرصة ذاتياً.



الشكل (٥-٢٨)

القطع بنظام التشغيل السابق

يؤثر على التذبذبات عند القطع بدرجات مختلفة عملية القطع غير المستقرة، مثل التحطم المتكرر للحد المتراكب، وتشكل عناصر الريش والتصاق المعدن المشغل على السطح الخلفي لأداة القطع وظواهر أخرى ترافق عملية القطع. لكن تردد كل هذه

الظواهر يتميز من تردد الاهتزازات المحرصة ذاتياً التي تكون دائماً قريباً من التردد الذاتي الذي يقوى بالنظام المهتز، ولهذا فإن الظواهر الفيزيائية المحددة لا يمكن أن تكون سبباً لنشوء أو زيادة الاهتزازات المحرصة ذاتياً.

إن المدلول الفيزيائي لنشوء وزيادة الاهتزازات المحرصة ذاتياً هو:

(١) كل صدمة مفاجئة تخرج النظام المرن (آلة - مثبتات - أداة قطع - مشغولة)

من التوازن تؤدي إلى تغير سماكة القطع؛

(٢) تباطؤ تغير قوة القطع عن تغير سماكة القطع يؤدي إلى نشوء تخامد في

الذبذبات الذاتية وعدم تخامد الاهتزازات المحرصة ذاتياً؛

(٣) نشوء آثار الاهتزاز على سطح القطع ستؤدي في شوط التشغيل الثاني إلى

إضافة طاقة إضافية في النظام عند كل تذبذب.

(٤) يحدث كل فترة زمنية تساوي بين طاقة التنشيط المعطاة للنظام والطاقة الممتصة

عند التذبذبات، وينشأ مستوى معين للاهتزازات المحرصة ذاتياً.

تؤدي مجموعة من العوامل إلى سعة التذبذبات. تنخفض سعة التذبذبات مع زيادة

سماكة الطبقة المقطوعة أو مقدار التغذية، بينما زيادة عرض الطبقة المقطوعة أو عمق

القطع يؤدي إلى زيادة السعة (الشكل ٥-٢٩)

يبين الشكل (٥-٣٠) تأثير سرعة القطع على سعة الاهتزاز. تعتمد القيمة العظمى

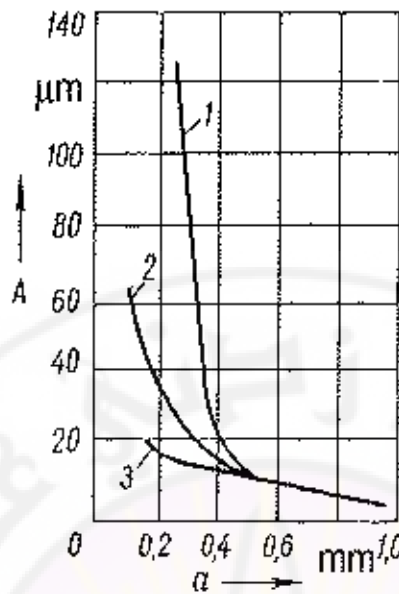
للسعة على المعدن المشغل وظروف العمل. بينما تعتمد شدة الاهتزاز على زاوية

الجرف حيث ترتفع فجأة قيمة سعة الاهتزاز عند قيمة سالبة لزاوية الجرف. كلما

صغرت زاوية الجرف كان مجال السرعات التي يحدث عندها الاهتزاز كبيراً.

يؤدي خفض زاوية الخلوص إلى  $30^\circ$  وأقل إلى خفض سعة الاهتزاز، وإذا كانت زاوية

الخلوص أكبر من  $10^\circ$  -  $8^\circ$  فإن شدة الاهتزاز لا تتأثر بها.



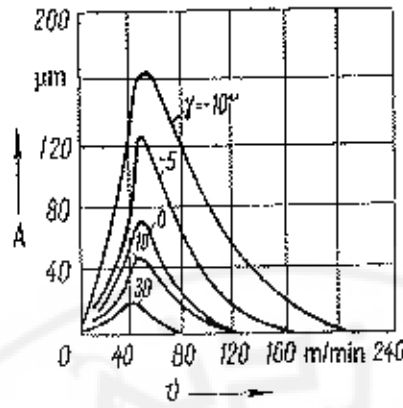
الشكل ( ٥-٢٩ )

تأثير سماكة الطبقة المقطوعة

على سعة الاهتزازات عند الحرارة

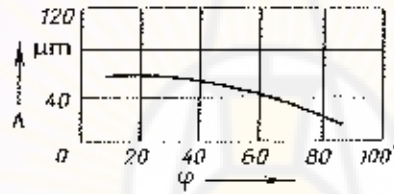
1)  $b = 6mm$  ، 2)  $b = 4,7mm$  ، 3)  $b = 3,7mm$

مع تغير زاوية  $\phi$  تتغير سماكة وعرض الطبقة المنزوعة وبالتالي تتغير سعة الاهتزاز. عند زيادة  $\phi$  تنخفض سعة الاهتزاز (الشكل ٥-٣١) بسبب أنه عند هذا ينخفض عرض الريش غير المقطوع وتزداد سماكته. تزداد الاهتزازات مع زيادة نصف قطر أنف القلم، وهذا نتيجة زيادة عرض الريش غير المقطوع. كما يؤدي اهتراء أداة القطع إلى اهتزاز أشد.



الشكل (٣٠-٥)

تأثير سرعة وزاوية الجرف على سعة الاهتزاز  $A$  عند الخراطة



الشكل (٣١-٥)

تأثير زاوية الاقتراب  $\phi$  على سعة الاهتزاز عند الخراطة

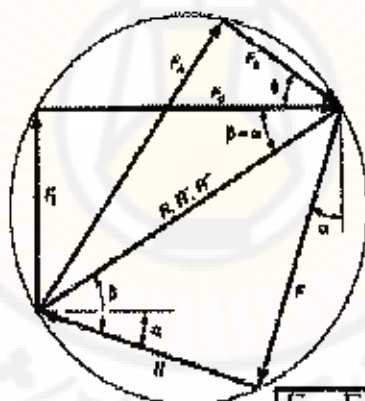
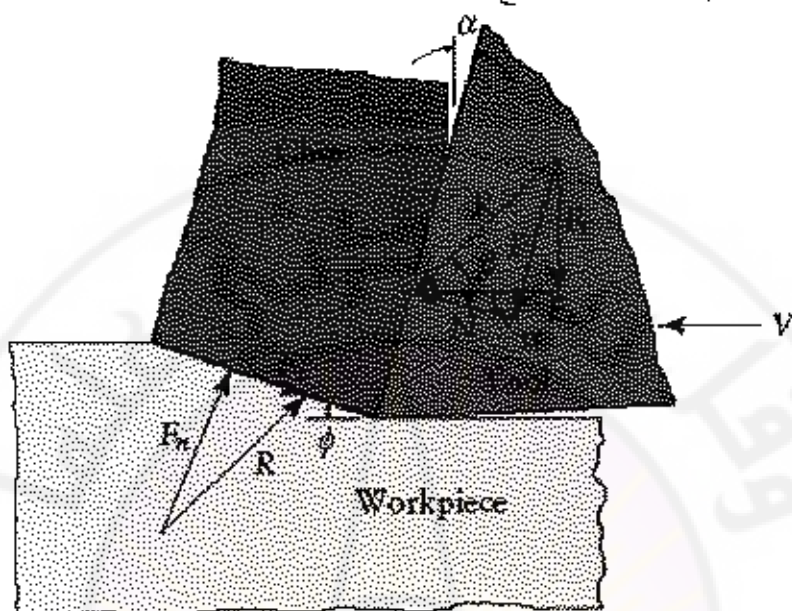
الزيادة في تثبيت مجموعة النظام (الآلة - المثبتات - أداة القطع - المشغولة) وقلّة التجاوز بين الأجزاء تؤدي إلى تقليل الظروف الملائمة لإحداث اهتزاز، ويقل ارتفاع الموجات الاهتزازية. عند الخراطة تحدث أقل اهتزازات عند خراطة المشغولة قرب الغراب المتحرك للمخرطة، وتشتد الاهتزازات كلما زاد بروز عمود الغراب المتحرك لأن هذا يقلل حساءة المجموعة. وعند زيادة تنوع القلم عن الماسك وصغر مساحة

المقطع العرضي لجذع القلم قل ثبات المجموعة واشتد الاهتزاز. ويزداد أثر نتوء القلم على الاهتزاز بزيادة سرعة المقطع.

عموماً يجب إيجاد وسائل للتخلص أو تقليل الاهتزاز التي لا تقلل المردود، وتؤدي إلى زيادة الحساء (الثبات) لمجموعة النظام (الآلة - المثبتات - القلم - المشغولة) ومن هذه الوسائل:

- ١) إدخال قطع مرنة بين اللولب القائد وظرف المخرطة أو تحت الفكوك.
- ٢) استعمال مخدات الاهتزاز التي تمنع حدوث الاهتزاز بزيادة قوى المقاومة في مجموعة الآلة - القلم - المشغولة.
- ٣) في خراطة التحشين ونصف الإنهاء يمكن إزالة الاهتزازات ذات التردد المنخفض للمشغولة بتحليخ الجزء خلف الحد القاطع سلبياً (جعل زاويته سالبة) على مدى الحد القاطع للقلم.
- ٤) تقليل الاهتزاز باستعمال ترتيبات صحيحة أكثر لشييت المحاور.
- ٥) استعمال سواكل القطع التي تساعد على تقليل الاهتزاز.

أمثلة على تحديد قوى القطع



$$\begin{aligned} F &= F_c \sin \alpha + F_n \cos \alpha \\ N &= F_c \cos \alpha - F_n \sin \alpha \\ F_x &= F_c \cos \phi - F_n \sin \phi \\ F_y &= F_c \sin \phi + F_n \cos \phi \end{aligned}$$





## الفصل السادس

### العمليات الحرارية عند قطع المعادن

- ٦-١ - مصدر حرارة القطع
- ٦-٢ - التوزيع الحراري في منطقة القطع
- ٦-٣ - العوامل المؤثرة على درجة حرارة القطع
- ٦-٤ - التبريد



## ٦-١- مصدر حرارة القطع:

تتولد الحرارة في عملية قطع المعادن نتيجة العمل المبذول لدخول أداة القطع في المشغولة.

ويصرف العمل على ما يلي:

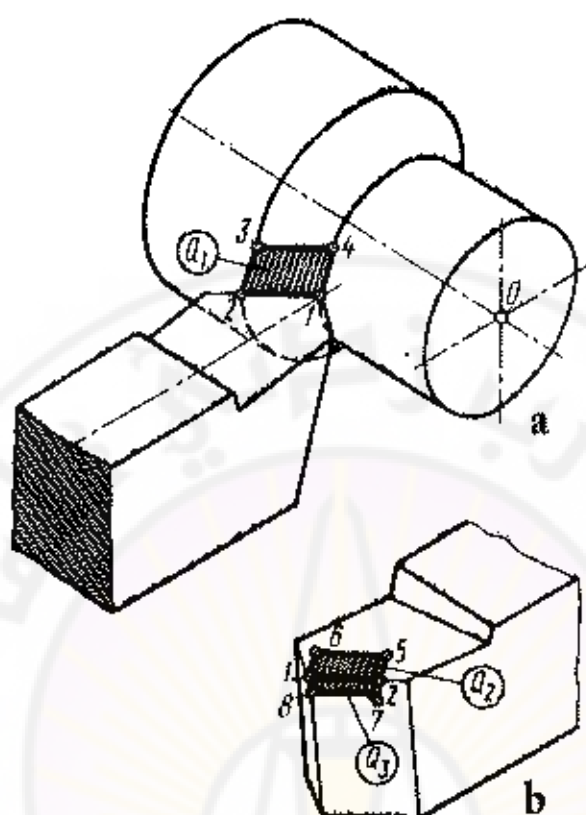
١- التشوه اللدن للطبقات التي تقطع والطبقات المغادرة للسطح المشغل وسطح القطع.

٢- التغلب على الاحتكاك الحادث على وجه وجانب القلم.

وتتولد الحرارة في ثلاث مناطق هي: منطقة تلامس الرايش بسطح الأداة، ومنطقة قطع الرايش ومنطقة تلامس سطح المشغولة بالأداة.

تتولد الحرارة في منطقة تلامس الرايش مع أداة القطع نتيجة احتكاك السطح السفلي للرايش، بالوجه الأمامي لأداة القطع أثناء خروج الرايش بسرعة من المشغولة، وتوزع الحرارة الناتجة في هذه المنطقة على كل من أداة القطع والرايش، وتعتبر هذه المنطقة أكبر مصدر لحرارة القطع.

تنشأ الحرارة في المنطقة الثانية (منطقة القص وتشكل الرايش) نتيجة للتغلب على ترابط الجزيئات في المعدن المشغل والاحتكاك. يذهب جزء كبير من كمية الحرارة المتولدة إلى الرايش، ويذهب جزء صغير من هذه الحرارة إلى المشغولة بحكم اتصالها بمنطقة القص. ينشأ الجزء الباقي من حرارة القطع بسبب الاحتكاك بين جزء من الوجه الجانبي لأداة القطع مع المشغولة (السطح الذي تم تشغيله)، ويكون التماس على سطح صغير المساحة. تبين الأشكال (٦-١) و (٦-٢) و (٦-٣) مناطق تولد الحرارة أثناء عملية القطع.



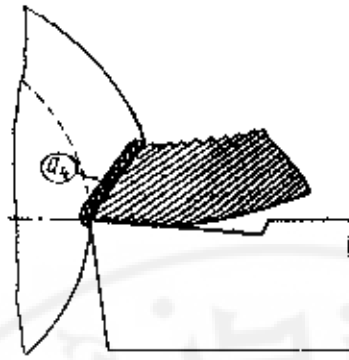
الشكل (٦-١)

مصادر تولد الحرارة

$Q_1$  - في مستوي القص (1-2-3-4)

$Q_2$  - على الوجه الأمامي لأداة القطع (1-2-5-6)

$Q_3$  - على الوجه الخلفي لأداة القطع (1-2-7-8)



الشكل (٦-٢)

مصدر تولد الحرارة في مستوي القص الأمامي

طبقاً للقوانين الفيزيائية تمر الحرارة المتولدة في القطع من النقاط التي لها درجة حرارة عالية إلى تلك النقاط التي لها درجات حرارة أقل، وتكون معادلة التوازن الحساسة في قطع المعادن :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

حيث  $Q$  القيمة الكلية للحرارة المتولدة أثناء عملية القطع.

$Q_1$  مقدار الحرارة المحمولة بواسطة الرايش.

$Q_2$  مقدار الحرارة الباقية في قلم القطع.

$Q_3$  مقدار الحرارة المتسربة إلى المشغولة.

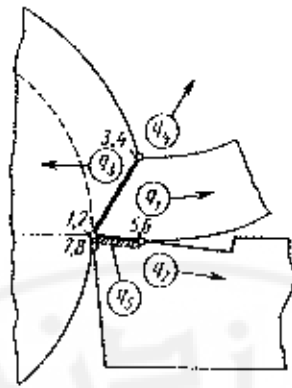
$Q_4$  مقدار الحرارة المشعة إلى الهواء الخارجي.

عند الخراطة تتوزع الحرارة كما يلي:

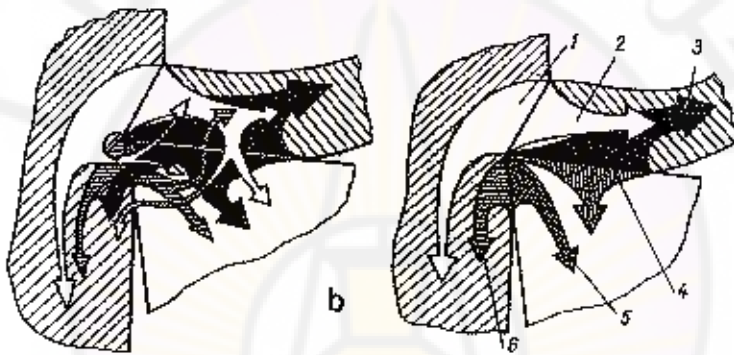
50-86% من المقدار الكلي يذهب مع الرايش؛

10-40% يذهب إلى قلم القطع؛

3-9% تسخن المشغولة؛ حوالي 1% يتم إشعاعه إلى المحيط الخارجي.



a



b

### الشكل (٦-٣)

(a) تصريف الحرارة في منطقة القطع

$q_1$  - المتسربة إلى الرايش ،  $q_2$  - المتسربة إلى الأداة ،  $q_3$  - المتسربة للمشغولة  $q_4$  ... المتسربة إلى الجو

المحيط،  $q_5$  - المتراكمة في الحد القاطع. (b) مخطط حركة التيارات الحرارية

١- كمية الحرارة المتسربة إلى المشغولة من الرايش نتيجة التشوه؛ ٢- كمية الحرارة المتسربة إلى الرايش

نتيجة التشوه؛ ٣- كمية الحرارة المتولدة نتيجة الاحتكاك بين الرايش والوجه الأمامي للأداة، ٤- كمية

الحرارة المتولدة نتيجة التماس بين وجه الرايش والوجه الأمامي للأداة؛ ٥- كمية الحرارة المتولدة من الحمل

الحراري بين الوجه الجانبي لأداة القطع والمشغولة؛

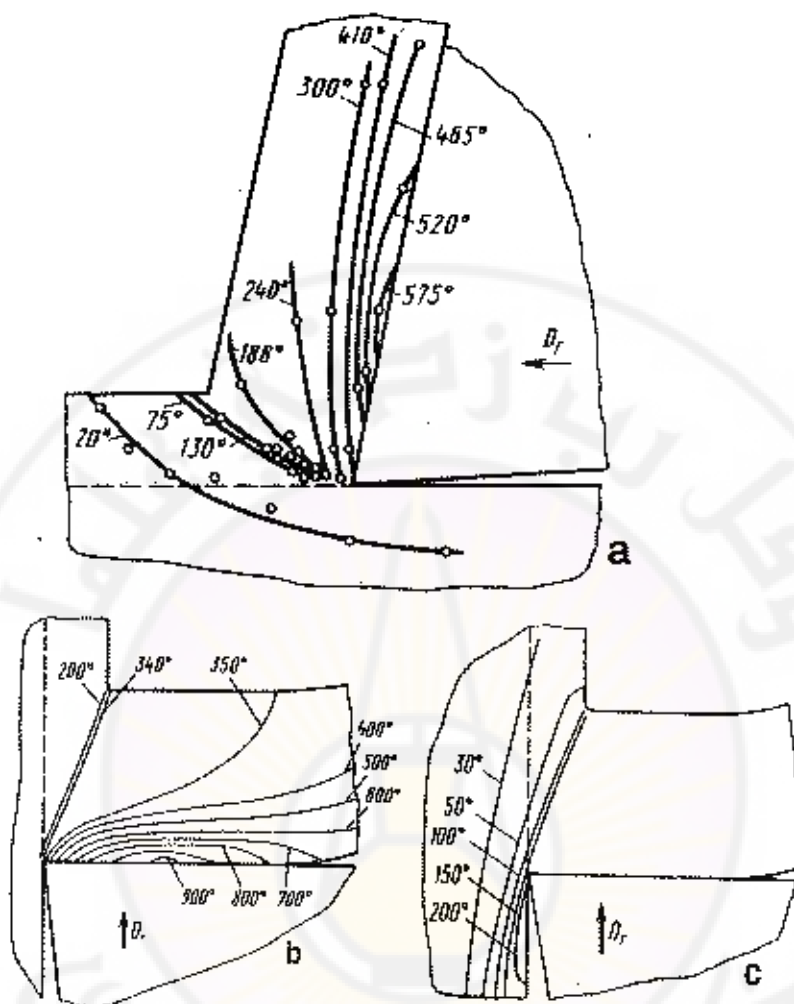
٦- كمية الحرارة المتولدة نتيجة الاحتكاك بين المشغولة وجانب أداة القطع؛

إن الحرارة المتسربة إلى أداة القطع تقلل من قساوتها وتجعلها أقل مقاومة للتآكل. وبالتالي ينخفض أمد حياة أداة القطع الذي يتأثر بالدرجة الأولى بدرجة الحرارة المرتفعة في الطبقة السطحية. تعتمد كمية الحرارة في الطبقات السطحية من أداة القطع على المقدار الكلي للحرارة المتسربة للقلم والمقدار تخلصه منها، فكلما كبر مقدار كمية الحرارة وصغر حجم رأس القلم كان انتقال الحرارة ذا فعالية أقل، وارتفعت درجة الحرارة التي تصل إليها الطبقات السطحية. تنبعث الحرارة في منطقة الرايش ومنطقة التماس بين الرايش والقلم، وبين القلم والمشغولة، وتؤثر بشدة على ظروف الاحتكاك وعلى دقة التشغيل وكامل عملية القطع والظواهر المنتسبة لها. يمكن أن ترتفع حرارة القطع عن المعدل وذلك للأسباب التالية:

- ١- ارتفاع سرعة القطع
- ٢- ارتفاع سرعة التغذية
- ٣- زيادة عمق القطع
- ٤- استخدام زاوية جرف سالبة
- ٥- الرايش المستمر
- ٦- طول فترة القطع
- ٧- اهتراء الحد القاطع
- ٨- تعدد الحدود القاطعة في العدة

#### ٦-٢- التوزيع الحراري في منطقة القطع:

تنوزع الحرارة في كل من الرايش والقلم بشكل غير منتظم، وبناء على ذلك ترتفع درجة الحرارة بشكل غير منتظم. تكون درجة حرارة طبقات الرايش الأقرب إلى وجه القلم أعلى من درجات الحرارة في الطبقات الأبعد، وهذا ناشئ عن التشوه غير المنتظم



الشكل (٤-٦)

المجال الحراري للرايش والمشغولة

(a) نتائج تجريبية للرايش، (b) حساسية للرايش (c) في المشغولة حساسية

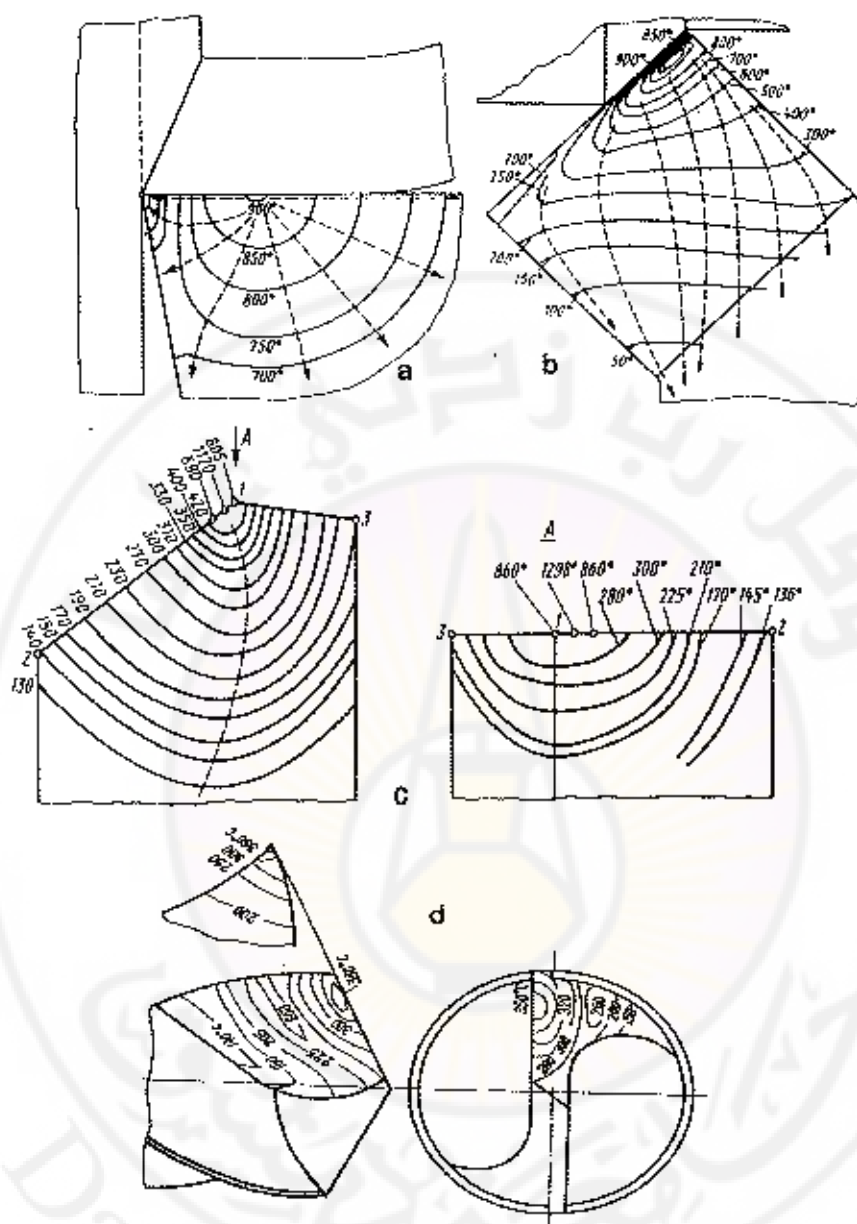


على مدى سمك الرايش غير المقطوع أثناء عملية الانضغاط للطبقات أمام أداة القطع ولتشوه الاضافي لطبقة الرايش بسبب قوى الاحتكاك بين الرايش ووجه القلم. يبين الشكل (٦-٤) المجال الحراري في الرايش والمشغولة، وتلاحظ درجة الحرارة العليا عند نقطة التلامس بين القلم والمشغولة.

توجد أعلى درجة حرارة للقلم عند طبقات الحدود لمناطق التلامس مع الرايش والمشغولة. ويلاحظ أن أداة القطع تأخذ أعلى درجات الحرارة الناشئة عن القطع، حيث تكون درجة حرارة أداة القطع أثناء عملية القطع أعلى من درجة الحرارة المتوسطة للرايش بحوالي مرتين إلى مرتين ونصف، كما تكون أعلى من درجة حرارة المشغولة بحوالي 20 إلى 30 مرة. تعتمد درجات حرارة الطبقات السفلى والمناطق الأبعد عن نقاط التلامس على ظروف انتقال الحرارة. توجد أعلى درجة حرارة لأداة القطع في مركز ضغط الرايش على القلم. تسخن النقاط المتساوية البعد عن الحد القاطع على وجه وجانب القلم إلى درجات حرارة مختلفة. يبين الشكل ٦-٥ التوزيع الحراري في قلم القطع حساسياً وتجريبياً لأقلام قطع مختلفة.

إن سبب انخفاض درجة حرارة جانبي القلم عائد إلى التلامس بسين سطح القطع والسطح المشغل الذي يخضع إلى تشوه أقل من الرايش، كما أن امكانية تصريف الحرارة لجانب القلم أفضل من وجه القلم. ويسخن جانب القلم بشكل رئيسي نتيجة العمل المبذول في التغلب على الاحتكاك، ويكون العمل المبذول على وجه القلم أقل في المعادن اللدنة. ويتلقى وجه القلم الحرارة من كل من الرايش، ومن العمل المقدم للتغلب على الاحتكاك.

وكلما زاد سمك الرايش كانت كمية الحرارة أعلى وخاصة على وجه القلم.



الشكل (٥-٦)

التوزيع الحراري في قلم القلم: (a) حساباً في مقطع القلم، (b) حساباً في الوجه الأمامي للقلم، (c) تجريباً للقلم  
 الحرارة، (d) تجريباً لريشة ثقب قطر 30mm

### ٦-٣- العوامل المؤثرة على درجة حرارة القطع:

#### ٦-٣-١- المعدن المشغل:

تتأثر درجة حرارة القطع بشدة بالخصائص الميكانيكية للمعدن المشغل، فكلما ارتفع إجهاد الشد وزادت قساوة المعدن المشغل كبرت قوى المقاومة التي يجب التغلب عليها في عملية تشكيل الرايش، وكبر العمل اللازم لإجراء عملية القطع، وتزداد بالتالي كمية الحرارة المتولدة، وتزداد درجة حرارة القطع، إن المعادن ذات المرونة تنتج كمية حرارة أكبر في عملية القطع، ولكن تساعد في تصريف الحرارة، وبالتالي لا ترتفع درجة الحرارة كثيراً. عند تشغيل فولاذ قاسي تكون مساحة تلامس الرايش لوجه قلم القاطع أصغر من مساحة تلامس الرايش لوجه القلم عند قطع الفولاذ الطري الأكثر لدونة. إن هذا يرفع الضغط على واحدة المساحة من سطح التماس بحيث أن الحرارة تنسرب إلى جسم القلم وإلى الرايش من خلال سطح ذي مساحة صغيرة، وهذا يؤدي إلى رفع درجة الحرارة في طبقات سطح القلم. كلما ارتفع التوصيل الحراري والسعة الحرارية للمعدن المقطوع زادت فعالية التبريد للحرارة من المكان الذي تولدت فيه إلى الرايش والمشغولة، وانخفضت بالتالي درجات الحرارة للطبقات السطحية للقلم.

إن الحرارة المنبعثة عند تشغيل الفولاذ تكون أكبر من الحرارة المنبعثة عند تشغيل الحديد الصلب. ورغم ذلك فمن الممكن أن تصل الطبقات السطحية للقلم إلى درجة حرارة أعلى وذلك بسبب:

- (1) أنه في عملية تشكيل الرايش الجزأ عند تشغيل الحديد الصلب، فإن ضغط السرايش على القلم يتركز قرب الحد القاطع؛
- (2) لأن الحديد الصلب له مقدرة على إشعاع الحرارة أقل من مقدرة الفولاذ.

### ٦-٣-٢ - سرعة القطع:

تزداد كمية الحرارة المتولدة مع زيادة سرعة القطع، وتخفض قوى القطع، ويزداد العمل المبذول وينتج من العلاقة:

$$Q = \frac{F_c \cdot v}{427} \text{ cal/min}$$

ستولد حرارة أكثر مع ازدياد سرعة القطع، ومع ازدياد كمية الحرارة تزداد درجة الحرارة.

تنمو درجة الحرارة التي يسخن إليها قلم القطع والرأيش والمشغولة مع ازدياد تولد الحرارة. ويبين الشكل (٦-٦) تأثير سرعة القطع على درجة الحرارة؛ وهكذا فإن درجة حرارة القطع تزداد مع زيادة سرعة القطع وفق العلاقة:

$$T = C_1 \cdot v^z$$

حيث  $C_1$  معامل يعتمد على ظروف التشغيل  
 $z$  أس يحدد شكل منحنى علاقة ازدياد درجة الحرارة مع ازدياد سرعة القطع. وبينت الأبحاث التجريبية أن الأس  $z > 1$ ، ويتراوح عادة بين  $0,26 - 0,72$

### ٦-٣-٣ - مقدار التغذية:

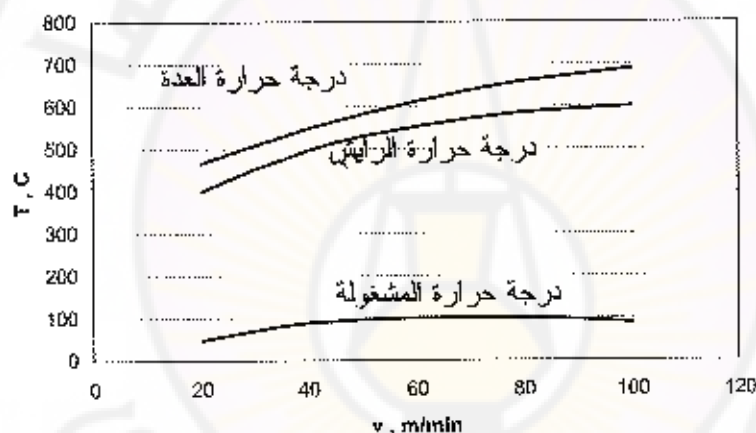
مع زيادة مقدار التغذية تزداد قوى القطع، وبالتالي مقدار الحرارة المتولدة. لكن معدل الزيادة في مقدار الحرارة المتولدة سيكون أبطأ من معدل الزيادة في مقدار التغذية. ويبين الشكل ٦-٧ تأثير مقدار التغذية على درجة حرارة القطع. هذه العلاقة عائدة جزئياً إلى تحسن انتقال الحرارة من السطوح المحتكة إلى الرأيش ونصاب القلم، وذلك بسبب ازدياد سماكة الرأيش وسطح التماس بين الرأيش والقلم. وتعطي العلاقة بين درجة حرارة القطع ومقدار التغذية بالعلاقة:

$$T = C_2 \cdot S^x$$

حيث  $C_2$  - معامل تعتمد قيمته على ظروف التشغيل.

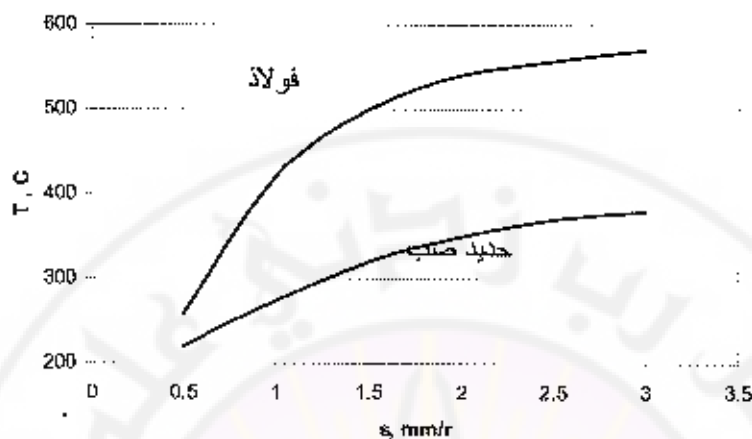
$x$  - أس يحدد شكل منحنى زيادة درجة الحرارة مع زيادة مقدار التغذية، وتكون قيمته  $x = 0,13 + 0,45$

وهنا يمكننا القول بأن مقدار التغذية يؤثر على درجة حرارة القطع بشكل أقل من تأثير سرعة القطع، ونستطيع تعليل ذلك من علاقة درجة الحرارة مع كل من مقدار التغذية وسرعة القطع حيث تلاحظ أن  $x < z$



الشكل (٦-٦)

تأثير سرعة القطع على توزيع الحرارة لعناصر القطع الرئيسية



الشكل (٦-٧)

تأثير مقدار التغذية على درجة حرارة القطع

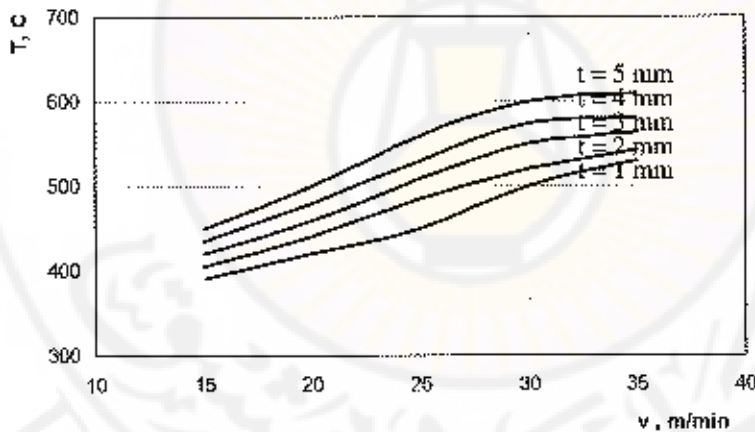
#### ٦-٣-٤ - عمق القطع:

تزداد القوة  $F_z$  ويزداد العمل المبذول مع زيادة عمق القطع، وبالتالي يزداد المقدار الكلي للحرارة. ومن ناحية أخرى فإن زيادة عمق القطع تتضمن زيادة نسبة طول الجزء الفعال من الحد القاطع، وهذا يعني أن كل إضافة لعرض الرايش تقابله زيادة مناظرة في قطاع التلامس على القلم. ومع الزيادة في مساحة التماس فإن انتقال الحرارة إلى نصاب القلم يكون بشكل أفضل بسبب أن حجم الجزء الفعال من رأس القلم قد ازداد. لذلك فرغم أن القيمة الكلية للحرارة قد ازدادت فإن درجة الحرارة لكل نقطة

من نقاط التماس بين القلم والرايش لا ترتفع إلا قليلاً. ويبين الشكل ٦-٨ العلاقة بين درجة حرارة القطع وعمق القطع عند سرعات قطع مختلفة. وتعطى علاقة تغير درجة الحرارة بعمق القطع بالمعادلة التالية:

$$T = C_3 t^y$$

حيث  $C_3$  - معامل يعتمد على ظروف التشغيل  
 $y$  - أس يحدد شكل منحنى العلاقة بين درجة الحرارة وعمق القطع وهو  $y < 1$  وقيمة تساوي تقريباً  $y \approx 0,1$ .  
 وبالنسبة فإن عمق القطع يؤثر على درجة حرارة القطع بشكل أقل بكثير من تأثير مقدار التغذية وذلك بسبب أن  $y < x$ .



الشكل (٦-٨)

العلاقة بين عمق القطع ودرجة حرارة القطع عند سرعات قطع مختلفة

بالمقارنة بين زيادة مقدار التغذية أو عمق القطع فإن الأفضل لعملية القطع زيادة مقدار التغذية لأن ذلك لا يزيد قوى القطع بشكل كبير كما بزيادة عمق القطع. لكن علينا أيضاً مراعاة التحمل الحراري لقلم القطع. عند مضاعفة عمق القطع تتضاعف منطقة التلامس والتسريب، وهذا يؤدي إلى المحافظة على درجة الحرارة أو إلى ارتفاع بسيط في درجة الحرارة. بينما عند مضاعفة مقدار التغذية تتسرب الحرارة إلى داخل القلم من منطقة التلامس التي تبقى ثابتة.

يبين الجدول التالي مقارنة بين تأثير عمق القطع ومقدار التغذية على درجة الحرارة وقوى القطع:

| عمق القطع                | مقدار التغذية                    |              |
|--------------------------|----------------------------------|--------------|
| $F_z = C_1 . t^x, x = 1$ | $F_z = C_2 . S^y, y < 1$         | قوى القطع    |
| $T = C_3 . t^y, y = 0,1$ | $T = C_2 . S^x, x = 0,13 - 0,45$ | درجة الحرارة |

تكون العلاقة الكلية لدرجة الحرارة بمتغيرات القطع كما يلي:

$$T = C . v^z . S^x . t^y$$

$$z > x > y$$

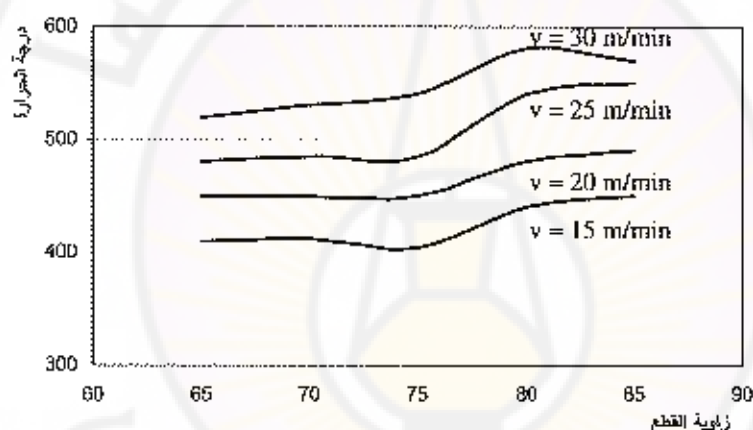
$C$  – المعامل العام المميز لظروف التشغيل.

### ٦-٣-٥- زاوية الجرف (زاوية القطع):

يكون لزاوية الجرف أثر معقد على درجة حرارة القطع، حيث إنها تسبب من جهة زيادة التشوه والعمل المبذول في القطع إذا انخفضت (أي زادت زاوية القطع)، وهذا يؤدي إلى زيادة الحرارة المتولدة. إلا أن الزيادة في زاوية القطع تبعد من ناحية أخرى



مركز ضغط الرايش عن الحد القاطع جاعلة رأس القلم ذا كتلة أكبر، وهذا يحسن عمليات انتقال الحرارة إلى نصاب القلم مما يخفض درجة الحرارة عند سطوح التلامس. يبين الشكل (٦-٩) العلاقة بين درجة حرارة القطع وزاوية القطع عند سرعات قطع مختلفة. ويلاحظ من المنحنيات أنه عند زوايا قطع أكبر من  $75^\circ$  تزداد درجة حرارة القطع مع زيادة زاوية القطع نتيجة أن الحرارة المتولدة تكون أكثر من المنتقلة. تسبب زاوية الجرف السالبة تشوهاً أكبر مما تسببه زاوية الجرف الموجبة، وتؤدي إلى نمو كمية الحرارة المتولدة أثناء القطع.

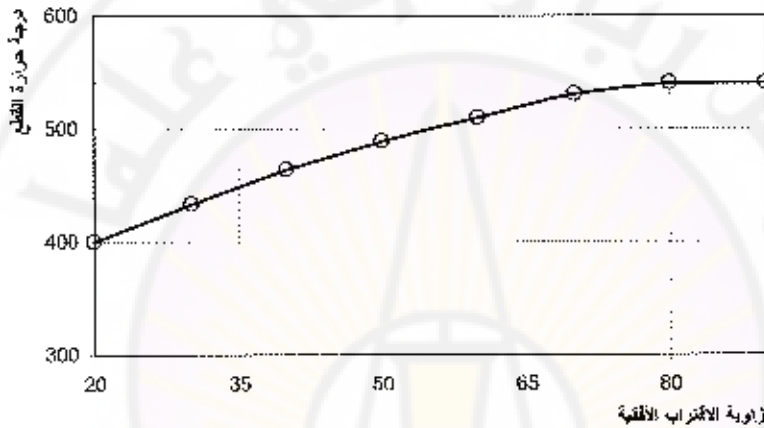


الشكل (٦-٩)

علاقة درجة حرارة القطع بزاوية القطع عند سرعات قطع مختلفة

### ٦-٣-٦- زاوية الاقتراب الأفقية:

تزداد درجة حرارة القطع مع زيادة زاوية الاقتراب الأفقية، وإن أشد ارتفاع لدرجة الحرارة يكون في المجال  $\phi = 20'' - 60''$  رغم انخفاض قوة القطع في هذا المجال ولكن يكون طول الجزء الفعال من الحد المقاطع أقل. أما في المجال  $\phi = 60'' - 90''$  يكون الانخفاض أقل ودرجة الحرارة تنمو بشدة أقل الشكل (٦-١٠).



الشكل (٦-١٠)

تأثير زاوية الاقتراب الأفقية على درجة حرارة القطع

يحدث عند تغيير زاوية الاقتراب عاملان متناقضان:

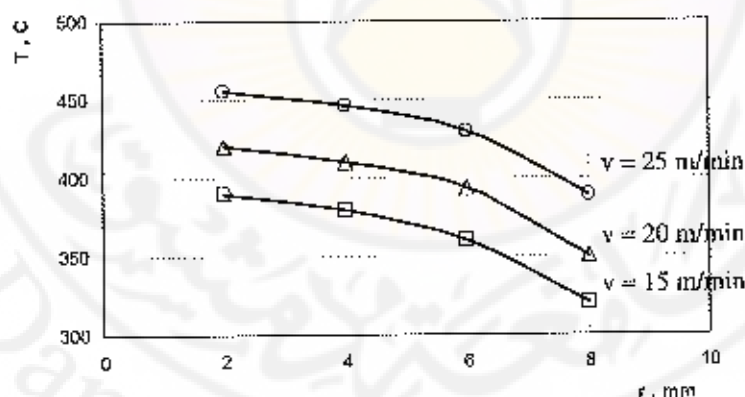
\*العامل الأول: يصبح عند زيادة زاوية الاقتراب الأفقية سمك الرايش أكبر من أجل قيم عمق القطع ومقدار التغذية نفسها، وهذا يبعد مركز ضغط الرايش إلى الوراء بعيداً عن الحد المقاطع. وتزيد مساحة التماس بين الرايش والقلم مما يسهل انتقال الحرارة إلى كل

من الرايش ونصاب القلم. كما أن عرض الرايش وطول الجزء الفعال من الحد القاطع ينخفضان عند زيادة زاوية الاقتراب المستوية.

\*العامل الثاني: إن انتقال الحرارة إلى المشغولة ومساحة القلم يصبح أقل فعالية، بحيث أن الحرارة تتركز في عرض صغير للرايش غير المقطوع وترتفع درجة حرارة القطع.

### ٦-٣-٧- نصف قطر أنف القلم:

عند زيادة نصف قطر أنف القلم تزداد كمية الحرارة المتولدة في عملية تشكيل الرايش، حيث يزداد التشوه وتزداد قوى القطع، ويجب أن تزداد درجة حرارة القطع. ولكن عندما يزيد نصف قطر أنف القلم فإن طول الجزء الفعال للحد القاطع وحجم رأس القلم يزداد بطريقة ماثلة، وهذا يعزز الانتقال الأفضل للحرارة إلى نصاب القلم وحجم المشغولة، إذاً بزيادة نصف قطر أنف القلم تزداد فعالية انتقال الحرارة وتنخفض درجة حرارة القطع الشكل (٦-١١). أيضاً كلما زادت مساحة مقطع نصاب القلم زادت فعالية انتقال الحرارة إلى نصاب القلم وانخفضت درجة حرارة القطع.



الشكل (٦-١١)

تأثير نصف قطر أنف القلم على درجة حرارة القطع

## ٦-٤- التبريد:

تعدّ عملية التبريد من أهم العمليات المساعدة لعملية القطع. إن سوائل التبريد لا تقرر فقط تطور كمية الحرارة من خلال تسهيل تشكيل الرايش وتقليل الاحتكاك، بل وتمتص وتحمل معها جزءاً من الحرارة المتولدة، وبذلك تنخفض درجة حرارة القطع. وكلما ارتفعت الحرارة النوعية والتوصيل الحراري لسائل التبريد كان أثر التبريد أفضل. يجب أن يكون تيار سائل التبريد موجهاً مباشرة إلى نقطة تحرك الرايش، وأن يزود بكمية ملائمة.

## ٦-٤-١- سوائل التبريد:

تستخدم سوائل التبريد عند عمليات القطع خاصة باستعمال أدوات قطع مصنوعة من فولاذ سرعات القطع العالية. وتتمتع سوائل التبريد بخاصية التزيت إلى جانب التبريد. وتستخدم سوائل التبريد من الماء ومحلول الصوديوم وماء الصابون والزيت المعدنيّة والشحومات ومحلول من الشحومات والمستحلبات المذابة في الماء وخليط من هذه السوائل معاً الجدول (٦-١). تجهز هذه السوائل عند تركيبها بحيث تؤدي الوظائف التالية :

- \* امتصاص الحرارة من المشغولة ومن أداة القطع.
  - \* التزييق بين أداة القطع والمشغولة.
  - \* تقلل من مقاومة الاحتكاك، أي تسهل تشكيل الرايش، وبالتالي تخفف من الطاقسة اللازمة للتشغيل.
  - \* تطيل عمر أداة القطع.
  - \* تؤمن الجودة السطحية المطلوبة.
- أما الشروط الواجب توافرها في سوائل القطع:

- خواص تبريدية وتزليقية عالية.
- خواص واقية من الصدأ.
- غير ضارة بصحة العاملين سواء باللمس أم بالرائحة.
- إمكانية التخزين لفترات طويلة دون أن تتلف.
- ألا تضر بالأجزاء المختلفة لآلات التشغيل.
- أن تكون اقتصادية (أي استخدامها لعدة مرات).
- أن تساعد على تحسين جودة السطح المشغل، وتقلل الطاقة المستهلكة.
- أن تمنع أي التصاق أو التحام للرايش بأداة القطع.

#### ٦-٤-٢ استخدام سوائل التبريد :

تعمل هذه السوائل عند استخدامها على رفع كفاءة القطع وإطالة عمر الحد القاطع للعدة، وعلى أساس تأثيرها في التبريد والتزيت تنتج عند استخدامها سطوحاً جيدة للمشغولات، وتخفيض من القوى اللازمة للقطع خصوصاً في عمليات انتزاع السرايش التي يصاحبها احتكاك زائد كالذي يحدث في عمليات الثقب والفولبسة والتخويش والبرغلة والتخليق الداخلي والخراطة والقشط... الخ، إلا أنه يوصى بعدم استخدام هذه السوائل في التبريد عند القطع بعدد كريدية أو بعدد من السيراميك، لأن مقاومة هذه الأنواع من العدد للحرارة تكون أعلى بكثير من مقاومة العدد المصنوعة من فولاذ سرعات العالية، مما يغني عن عملية التبريد من جهة، ومن جهة أخرى فإن تبريد لقم العدد الكريدية أو الخزفية أثناء القطع تنشأ عنه إجهادات حرارية تحدث تشققات بالقمة تؤدي إلى التعجل بإنهاء عمر حدها القاطع وتكسره، وبالتالي إلى إنهاء عمر اللقمة كلها، ويرجع سبب ذلك إلى وجود فرق كبير في درجات الحرارة بين الجزء المزيل للرايش والملامس له فعلاً، وبين بقية اللقمة الكريدية أو الخزفية . لذلك نجد أن

عملية التبريد عند القطع بإزالة الرايش بقواطع هندسية التحديد يتم أساساً عند استخدام العدد المصنوعة من فولاذ السرعات العالية وفولاذ العدد .  
إن فوائد استعمال سوائل التبريد هي:

- ١- تزيد من عمر أداة القطع.
- ٢- تحفظ أداة القطع ومعدن المشغولة في درجة حرارة منخفضة.
- ٣- تمنع تلون المشغولة الذي ينتج من حرارة احتكاك القطع.
- ٤- تعمل على إزالة قطع الرايش.
- ٥- تمنع صدأ وتآكل أداة القطع والمشغولة.
- ٦- تمنع الأدخنة والضباب التي قد تتصاعد من عملية القطع.
- ٧- تمنع التحام الرايش بالحد القاطع لأداة القطع.

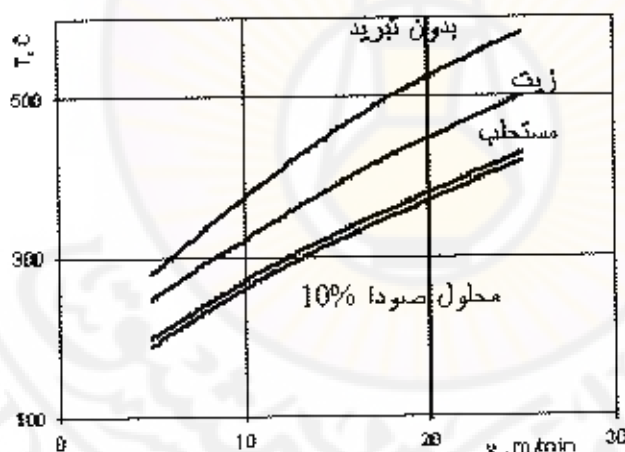
#### ٦-٤-٣ تأثير سوائل التبريد :

يتركز تأثير سوائل التبريد في:

أولاً: الخفض الكبير لحرارة القطع الناجمة عن الاحتكاك بين العدة والمشغولة الذي يمكن أن يصل تأثيره على العدة- في حالة عدم التبريد- جداً تفقد فيه قساوتها بسرعة، وبالتالي حداثتها، فيعجز قاطعها بعد ذلك عن الاستمرار في القطع.  
ثانياً: تحسن سطح المشغولة، وذلك بفضل خاصية التزييت في السائل- إلى جانب خاصية التبريد - واللتين تهيئان معا للعدة أفضل ظروف قطع، كما تؤديان إلى سهولة انزلاق الرايش وخروجه بعيداً عن السطح المقطوع دون أن يلصقه، أو يحدث به أي خدوش، فضلاً عن أنهما تساعدان على عدم التعرض لمشكلة تشوه السطح، ويختلف تأثير التبريد من سائل إلى لآخر، فإضافة تركيبة من الكبريت والفوسفور إلى سائل التبريد يزداد ثباته ومحافظة على سلامة الحد القاطع لمدة أطول، كما يعمل على زيادة

تحسين السطح الناتج، ويمكن الحصول على جودة أعلى للسطح باستخدام زيوت التبريد الحيوانية والنباتية مع استخدام سرعة قطع منخفضة، لأن هذه الزيوت لها قدرة هائلة على التزيت.

وعموماً فقد أثبتت الممارسة أن استخدام التبريد يحقق خفضاً في قوى القطع اللازمة لإزالة الرايش بنسبة تتراوح بين 15% و 10%، ويتيح إمكانية رفع سرعة القطع بنسبة تصل (في حالة استخدام عدة مصنوعة من فولاذ السرعات العالية) إلى 40% مع ثبات عمر الحد القاطع في الحالتين، كما يعمل على إطالة عمر الحد القاطع للعدة عند ثبات سرعة القطع في الحالتين. ويبين الشكل (٦-١٢) تأثير سوائل التبريد على درجة حرارة القطع عند سرعات قطع مختلفة.



الشكل (٦-١٢)

تأثير سوائل التبريد على درجة حرارة القطع  
عند تشغيل الفولاذ بقلم من فولاذ السرعة العالية

#### ٦-٤-٤ طرق التبريد:

تجري عملية التبريد بواسطة السوائل عن طريق ضغط السائل المبرد وتوجيهه إلى مصدر حرارة القطع عبر فتحات صغيرة يخرج منها مندفعاً إلى منطقة القطع، حيث يستص السائل منها جزءاً كبيراً من الحرارة المتولدة ليعطى كفاءة أكبر لعملية إزالة الرايش، وعمراً أطول لمدة القطع، وتستخدم للتبريد بالسوائل طريقتان:

##### ١) التبريد المكثف:

يتم تبريد القطع في هذه الطريقة بإسقاط تيار غزير من السائل المبرد على مصدر حرارة القطع، فيعمل على مقاومة الحرارة المتولدة من عملية إزالة الرايش خصوصاً في:

١- منطقة قص الرايش

##### ٢- منطقة الاحتكاك بين الرايش وسطح ووجه العدة

وباعتبار أن منطقتي الحرارة المذكورتين تتركز فيهما أكبر كمية من حرارة القطع، لذلك يجب أن يكون السائل الساقط على منطقة تكون الرايش غزيراً، لأنه كلما زادت كمية السائل امتص كمية أكبر من حرارة القطع وهاارت بالتالي حدة تلسك الحرارة، ويتم التبريد بهذا الأسلوب في كثير من عمليات إزالة الرايش، لأنه يعدّ أسلوب التبريد الرئيسي حتى الآن. وحدير بالذكر أنه فضلاً عن التأثير المبرد للسائل في هذا الأسلوب فإنه - بخاصية التزيت التي يتمتع بها - يساعد على تسهيل انتزاع الرايش وتحسين السطح الناتج، كما أنه يعمل على خفض معدل الاحتكاك بين السطح السفلي للرايش ووجه العدة، مما يطيل من عمر الحد القاطع، وباندفاع السائل إلى منطقة القطع فإنه يعمل على إبعاد الرايش - خاصة ذراته الصغيرة - عن منطقة إزالة الرايش، فيمنع بذلك أي مضار يمكن أن يلحقها بالسطح المقطوع.



## ٢) التبريد بالتفريز:

في هذه الطريقة يتم التبريد بضغط السائل المبرد من صنبور فيخرج منه بانددفاع- متبخراً تقريباً- في مواجهة فراغ الزاوية الناتجة عن تقابل سطح الخلووص في العدة مع سطح المشغولة الذي يتم تشغيله فعلاً، وتتميز هذه الطريقة بأن سائل التبريد يصل فيها إلى الحد القاطع أثناء تغلغله في معدن المشغولة، فيقلل بذلك من حدة احتكاك سطحها الذي يكون قد تم قطعه لتوه بسطح خلووص للعدة، مما يكاد يزيل خطورة تولد الحرارة في هذه المنطقة، وبهذا يتأخر ظهور علامة التآكل على سطح خلووص العدة ويطول عمر حدها القاطع.

وإن كان التبريد بهذا الأسلوب لا يساعد في تسهيل حركة خروج الرايش إلا أنه يعطى سطوحاً أكثر جودة من تلك التي يعطيها أسلوب التبريد المكثف. ويتفق التبريد هنا مع التبريد بالأسلوب الأول في أنه بزيادة كمية السائل المدفوع ترتفع كفاءة عملية التبريد، ويكثر استخدام هذه الطريقة للتبريد في عملية التفريز والتحليخ.







## الفصل السابع

### اهتراء أداة القطع وتضررها

- ٧-١- مقدمة
- ٧-٢- الأضرار بأداة القطع وتصنيفاتها
- ٧-٣- اهتراء القلم
- ٧-٤- دراسة حالة - آلية اهتراء أدوات القطع المصنوعة من الفولاذ سريع القطع



يذكر أنه بالنسبة لأداة القطع فإن هنالك متطلبات خاصة ميكانيكية كحد أدنى وحرارية لا بد من دراستها، وذلك تفاديا لحدوث أي عجز مباشر يمكن أن يصيب هذه الأداة. يقصد بهذا الضعف أنه ضرر كبير جدا يلحق بأداة القطع بحيث يفقدها القدرة على إزالة المعدن من المشغولة أثناء عملية القطع. لا بد من جلب الانتباه إلى آليات وخصائص الأضرار التي تأتي بدرجة أقل من الضعف، والتي يمكن مع تنامي الاستخدام أن تتجمع وتتراكم بحيث تؤدي في نهاية المطاف إلى استبدال أداة القطع. إن أداة القطع يجب أن تتحمل قوى احتكاك أكثر وإجهادات، وأيضا درجات حرارة تكون عادة أعلى بكثير من سطوح الآلة التي تركز عليها أداة القطع. في معظم الحالات، ليس هنالك خلاف حول تفادي الضرر اللاحق بأداة القطع، ولكن السؤال الوحيد هو أنه كيف لهذه الأضرار أن تحدث بسرعة.

تظهر الأضرار بأداة القطع بسبب الإجهاد ودرجة الحرارة المؤثرين على سطح أداة القطع التي تعتمد بدورها على نمط عملية القطع، على سبيل المثال، الخراطة -التفريز والتثقيب، وتعتمد كذلك على شروط القطع لكل من مادة الأداة والمشغولة، وتعتمد أيضا على سرعة القطع ومقدار التغذية وعلى عمق القطع، وكذلك على استخدام سائل التبريد أو التزليق ونوعه، حيث يذكر أن الاهتراء حساس جدا للتغيرات الصغيرة في ظروف التزليق. إن نمط اهتراء الأداة ومعدل هذا الاهتراء وبشكل مشابه هو حساس جدا أيضا للتغيرات الحاصلة في عملية القطع وفي ظروف القطع. وبما أن اهتراء أداة القطع أمر لا يمكن تجنبه فهنالك إمكانية للتقليل منه فيما إذا كان نمطه وما يمكن أن يتحكم به مفهوماً بالنسبة لنا.

في نهاية عمر أداة القطع لا بد من استبدالها أو تجديددها للمحافظة على الدقة أثناء تشغيل المشغولة، وللتقليل من خشونة السطح ومن أجل معايير السلامة.

## ٧-٢- الأضرار بأداة القطع وتصنيفاتها:

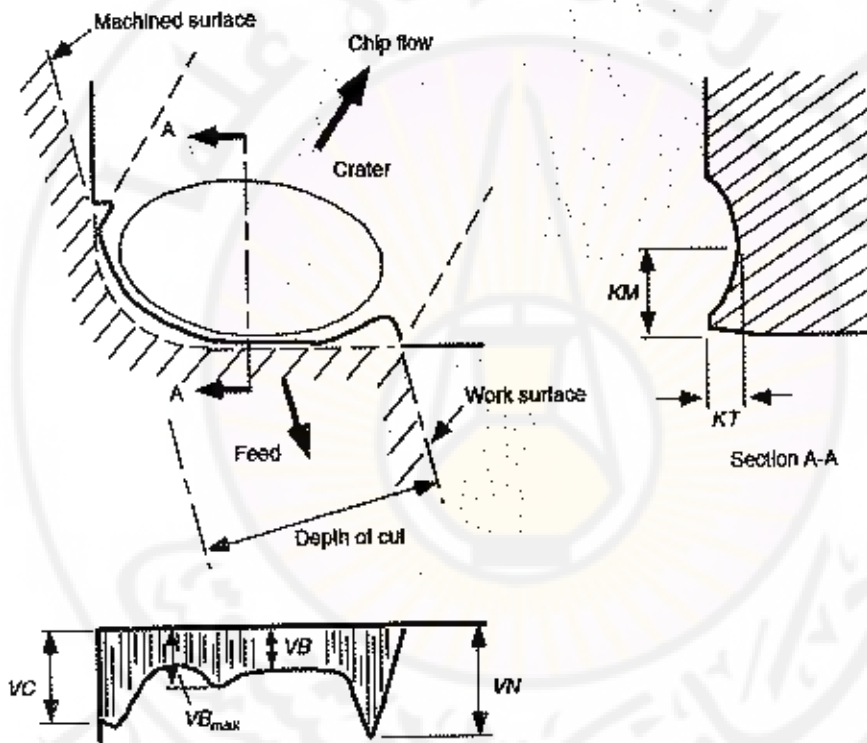
### ٧-٢-١- أنواع الأضرار اللاحقة بأداة القطع:

إن الأضرار اللاحقة بأداة القطع يمكن تصنيفها إلى مجموعتين هما: الاهتراء والكسر وذلك من حيث مقدارها وسرعة حدوثها حيث أن الاهتراء يعبر عنه بفقدان مادة أداة القطع لقساوتها أو قدرتها على الملامسة الدقيقة بحدود الميكرون أو بمقياس أقل يصل لحدود رتبة الجزيئة أو الذرة ، ويزداد الاهتراء عادة مع مرور الزمن. أما الكسر من ناحية أخرى، فهو ضرر بدرجة أكبر من الاهتراء ويحدث بشكل فجائي. ويسين الشكل (٧-١) نموذجاً مثالياً عن الأضرار في حالة الاهتراء لأداة القطع الكربيدية، حيث تكون مادة المشغولة من الفولاذ وبسرعة قطع عالية نسبياً. وتظهر حفرة التآكل على سطح زاوية الجرف ، والتآكل الجانبي على السطوح العمالة، والتآكل على شكل ثلم في عمق القطع (DOC)، والتآكل كلها أنماط قاسية تمثل أنماط الاهتراء المثالية. هنالك مقاييس لاهتراء أداة القطع يعبر عنها بالأبعاد (VB) و (KT) كما موضح في الشكل (٧-١).

يظهر الشكل (٧-٢) تغير شكل التلف مع تغير المواد وتغير نمط القطع وظروفه. ويكون اهتراء الجانب العامل وكذلك حفرة الاهتراء على شكل ثلم صغير جداً، وذلك بعد خراطة قطعة من الفولاذ متوسط الكربون مع أداة قطع مدعمة بالكربيد بسرعة قطع عالية (الشكل ٧-٢-أ). لو تغيرت العملية إلى عملية تفريز فستظهر حفرة اهتراء كبيرة مع عدد من التصدعات التي تمثل الضرر بشكل واضح (الشكل ٧-٢-ب). وعند خراطة مشغولات من خلاط النيكل الكبيرة مع أدوات قطع سيراميكية (الشكل ٧-٢-ج) فإن ثلم الاهتراء في خط DOC هو من نمط الضرر المهيمن بينما اهتراء الحفرة والوجه العامل يكون تقريباً صغيراً جداً. أما خراطة قطعة من الفولاذ الكربوني بأداة قطع مشكلة من سيراميك نتريد السيلكون (لا يكون مقبولا) ، ويكون

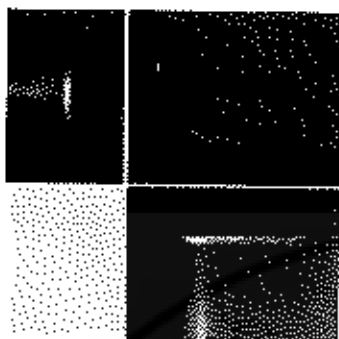


الاهتراء بشكل حفرة، وللوجه العامل يتقدم بفترة زمنية قصيرة (الشكل ٧-٢-د). في حالة خراطة مشغولة من خلاط التيتانيوم بأداة قطع كريدية من الدرجة  $k$  فإن كميات كبيرة من الرايش المأخوذ من المشغولات يظهر ملتصقا بأداة القطع، وجزءاً من الحد القاطع يتضرر إما بالكسر أو بالاهتراء.

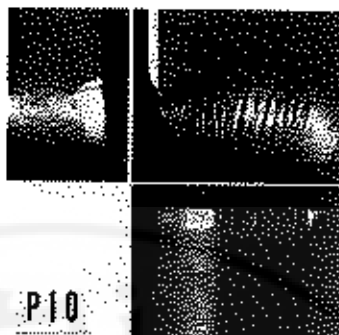


الشكل (٧-١)

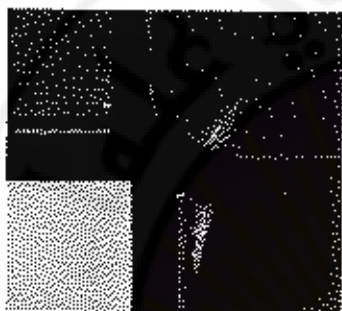
نمط أهدراء أداة القطع الكريدية



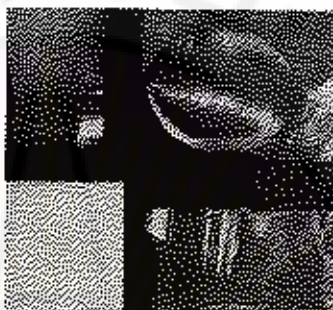
(a) Turning a 0.45% carbon steel



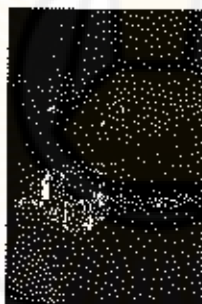
(b) Face milling a 0.45% carbon steel



(c) Turning Inconel 718



(d) Turning a 0.45% carbon steel



(e) Turning a Ti alloy

Typical tool damage observations - both wear and fracture: (a) tool: cemented carbide P10,  $v = 150 \text{ m min}^{-1}$ ,  $d = 1.0 \text{ mm}$ ,  $f = 0.19 \text{ mm rev}^{-1}$ ,  $t = 5 \text{ min}$ ; (b) tool: cemented carbide P10,  $v = 400 \text{ m min}^{-1}$ ,  $d = 1.0 \text{ mm}$ ,  $f = 0.19 \text{ mm tooth}^{-1}$ ,  $t = 5 \text{ min}$ ; (c) tool:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$  ceramic tool,  $v = 100 \text{ m min}^{-1}$ ,  $d = 0.5 \text{ mm}$ ,  $f = 0.19 \text{ mm rev}^{-1}$ ,  $t = 0.5 \text{ min}$ ; (d) tool:  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ceramic tool,  $v = 300 \text{ m min}^{-1}$ ,  $d = 1.0 \text{ mm}$ ,  $f = 0.19 \text{ mm rev}^{-1}$ ,  $t = 1 \text{ min}$ ; (e) tool: cemented carbide P10,  $v = 150 \text{ m min}^{-1}$ ,  $d = 0.5 \text{ mm}$ ,  $f = 0.1 \text{ mm rev}^{-1}$ ,  $t = 2 \text{ min}$ .

الشكل (٧-٢)

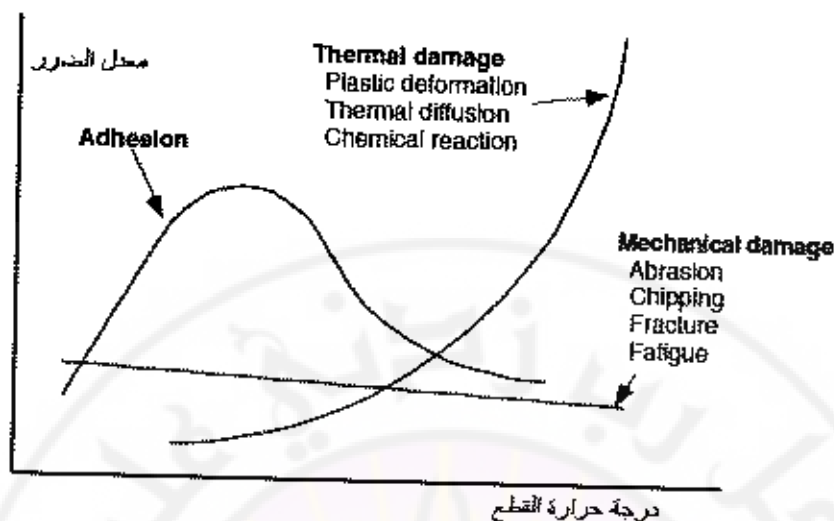
أنماط الضرر في أداة القطع

## ٧-٢-٢- أسباب ضرر أداة القطع:

هناك ظروف عامة تقود إلى آليات التآكل الكيميائي والانتحامية والاحتكاكية في سياق ضرر أداة القطع، أهمية وحدوث هذه الآليات يمكن أن تصنف وفق درجات حرارة القطع، كما هو مبين في الشكل (٧-٣)، حيث هناك ثلاثة أسباب للضرر وهي ميكانيكية-حرارية - التصاقية.

الأضرار الميكانيكية التي تشمل على الاحتكاك والاهتراء والإجهاد والكسر المبكر والتي هي مستقلة بشكل أساسي عن تأثير درجات الحرارة. الأضرار الحرارية بالتشوه اللدن أو بالانتشار الحراري أو بالتفاعل الكيميائي بأشكاله المثالية حيث يزداد بسرعة مع ازدياد درجة الحرارة، (ينبغي أن يلاحظ أن الانتشار - أري والتفاعل الكيميائي ليسا السبب المباشر للضرر، وهما يجعلان من سطح أداة القطع ضعيفاً لمقاومة الاحتكاك والتصاق الميكانيكي والصدمة الميكانيكية بحيث يمكن أن تؤثر بسهولة أكبر في ما بعد على اهتراء مادة أداة القطع). ويعتمد ضرر الأداة القطع على الانتحام، ويظهر عنده النهاية المحلية الأعظمية في مجال درجات الحرارة المحددة أثناء القطع. الأضرار الميكانيكية :

يتم تصنيف التلف الميكانيكي على أنه اهتراء أو كسر بالاعتماد على درجة التلف. يوضح الشكل (٧-٤) الأنماط المختلفة للضرر الميكانيكي من الدرجة الأقل من ١٠٠ ميكرون وحتى حوالي ١٠٠ ميكرون (أكثر بكثير من حد ١٠٠ ميكرون يصبح ذلك الضرر عميقاً بأداة القطع). ينتج الاهتراء نتيجة انزلاق ذرات صلبة على سطح أداة القطع، وتأتي هذه الجزيئات من مادة العمل ذات البنية الصغيرة أو نحصل عليها من حافة القطع.



الشكل (٣-٧)  
آلية الضرر في أداة القطع

يعتمد تخفيض خشونة الاهتراء على علاقة أداة القطع بجزيئات المادة، وبشكل عام تعتمد على مسافة القطع، انظر الشكل (٤-٢). يحدث الاهتراء التشويهي بدرجات أكبر من الاهتراء أو الخدش، تضعف جزيئات أو حبيبات أداة القطع بواسطة كسر صغير ناتج عن حدوث انزلاق أثناء العمل قبل أن تزال هذه الحبيبات بواسطة الاهتراء. وعندما تصبح ذرات الاهتراء أكبر يحصل ما يدعى بالتقطيع (أحياناً يدعى بالتقطيع الصغير) وهو يحدث نتيجة صدمة ميكانيكية تؤدي إلى تأرجح كبير في شدة القطع إضافة إلى تأرجح الجهد الموضعي الذي يسببه التشوه. أخيراً الكسر وهو أكبر من التقطيع ويصنف إلى ثلاث مراحل:

- المرحلة الابتدائية تحدث مباشرة بعد بداية القطع إذا كان شكل الأداة أو شرط القطع غير مناسب أو إذا كان يوجد نوع من الخلل في أداة القطع أو خلل في هيئة حافة القطع للعمل.
- مرحلة الكسر غير المعروفة يمكن أن تحدث في أي وقت إذا تغيرت القوة على الحد القاطع فجأة، مثال على ذلك ما يحصل بسبب احتكاك أداة القطع أو عدم انتظام قساوة المشغولة.
- المرحلة النهائية يمكن أن تلاحظ بشكل متكرر ومستمر عند نهاية عمر الأداة وبخاصة أداة التفريز، وبالتالي يحصل تعب لأداة القطع بسبب الإجهادات الحرارية والميكانيكية على الحد القاطع.



الشكل (٧-٤)

الأنماط المختلفة للضرر الميكانيكي

الضرر الحراري — التشوه اللدن:

يعتبر التشوه اللدن أحد أنواع الضرر الحراري، وهو يلاحظ عندما لا تستطيع أداة القطع تحمل الإجهاد والضغط على حافة أداة القطع عند درجة الحرارة أو شدة قطع

عالية، وهذا السبب تصبح قساوة الأدوات ذات حساسية عالية لدرجات الحرارة تعبر عن حالة ضعف الأداة.

أمثلة على ذلك: أدوات فولاذ عالي السرعات بشكل عام، وأدوات كربيدية إسمنتية تحتوي على الكوبالت أو أدوات سيراميكية تستخدم في الظروف الشديدة، وبشكل خاص عند نسبة درجات حرارة عالية. يعود تشوه الحافة إلى تشكيل غير مناسب واهتراء شديد للمواد.

### الضرر الحراري — الانتشار:

يحدث الضرر نتيجة الانتشار عند درجات الحرارة العالية لعملية القطع. إذا تداخلت أداة القطع مع انتشار عناصر المواد (كل واحدة متداخلة في بنية الأخرى)، وهذه الحالة معروفة بشكل واسع عند استخدام أداة كربيد إسمنتي، وقد تم دراستها لعدة سنوات من قبل Dawhi وآخرون. ويتناسب معدل تبدد الحرارة اللازم للتحكم بالعمليات مع درجة الحرارة المطلقة.

$$\frac{dh}{dt} = C_1 \exp \left[ -\frac{C_1}{q} \right] \quad \dots (7.1a)$$

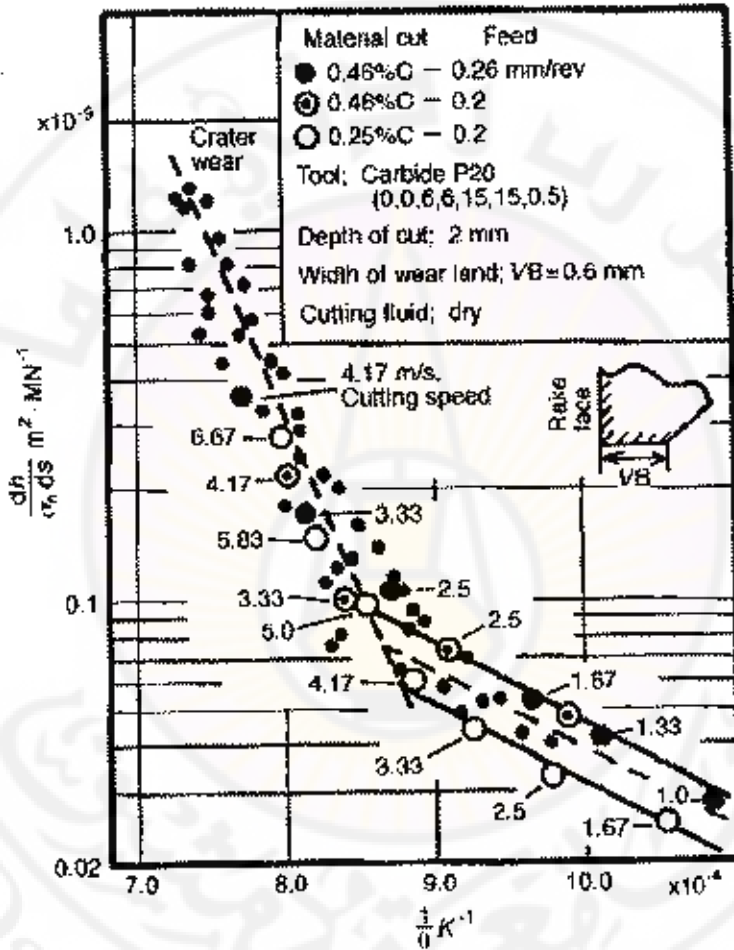
$$\frac{dh}{ds} = C_1 \exp \left[ -\frac{C_2}{q} \right] \quad \dots (7.1b)$$

$$\frac{dh}{ds} = C_1 \exp \left[ -\frac{C_2}{q} \right] \quad \dots (7.1c)$$

ولهذا فإن احتمال مسافة الانزلاق (s) أصبح متغيراً أساسياً (المعادلة 7.1b) تفترض أن الاهتراء يزداد أيضاً مع الإجهاد التلامسي الطبيعي (المعادلة 7.1a).

يظهر الشكل (٧-٤) النتائج الأساسية لكل من نسب ومعدلات الاهتراء بشكل حفرة أو على الجانب من أحمل (٢٥، ٠.٢٥٪) و (٤٦، ٠.٤٦٪) للفولاذ عند الخراطة باستخدام أداة p20، ووجد بعد ضرب المعادلة (7.1c) منطقتان خطيتان. إن ميلان خط بيانات

درجة الحرارة الأعلى نموذج لعملية الانتشار بين الفولاذ والكربيد. والمنحني الأصغري في حالة درجات حرارة الأخفض هو نموذج عن درجة حرارة عملية الاهتراء الميكانيكي، وهو يعبر عن حالة الاهتراء أو التشوه. كما يمكن لانتشار الحرارة أن تظهر مباشرة عند درجات حرارة عالية في الشروط الثابتة.



الشكل (٧-٤)

معدل اهتراء الفولاذ

وهناك أمثلة أخرى عن الاهتراء الانتشاري وهو الاهتراء الكسري لأدوات قطع الجواهر وأدوات سيراميك نتريد السيليكون، وأدوات سيراميك الألمنيوم المقواة عند انتشار كل من الفولاذ والكربون والسيليكون والتتروجين مسحوية في الحديد عند درجات حرارة مرتفعة جداً. وعند تعريض نتريد السيليكون وكرييد السيليكون للحديد الساخن بشدة. يمكن تخفيض حث الانتشار الحراري لأدوات الكرييد إذا عمت الطبقات كحاجز للانتشار أي كراسب معدني على الأداة، وهناك نوعان من الطبقات في التمرين، واحدة مزودة من أدوات ذات طبقات رقيقة والأخرى طبقة أكسيدية للحماية مترسبة على سطح الاهتراء خلال عملية القطع.

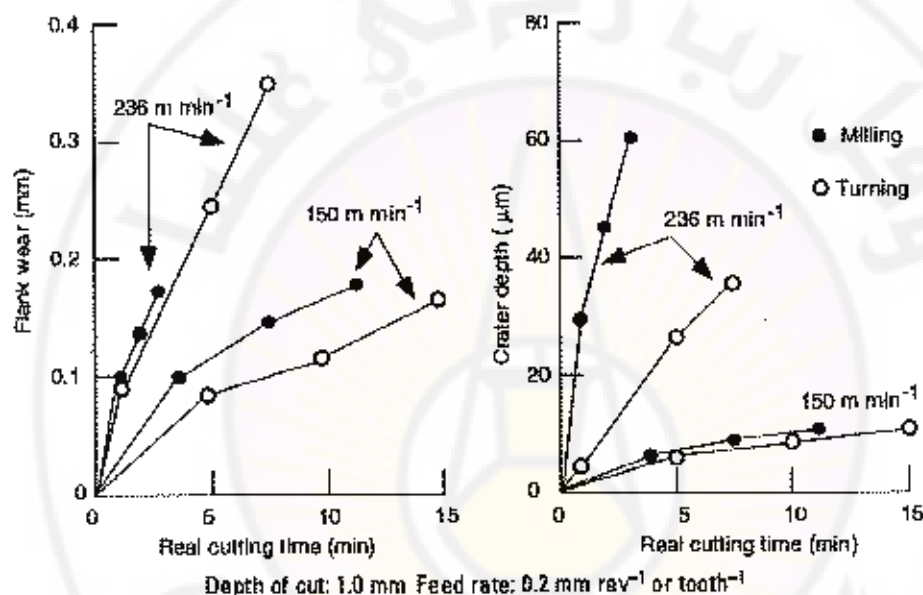
### الضرر الحراري - التفاعل الكيميائي

يحدثُ الاهتراء الناتج عن التفاعل الكيميائي عندما تتشكل مركبات كيميائية نتيجة تفاعل الأداة مع مادة العمل (أو عناصر أخرى، مثل الأوكسجين في الهواء الجوي أو الكبريت و الكلور في سائل القطع)، وعندما تحرف هذه المركبات بعد ذلك بواسطة الرايش أو الوجه العامل.

الاهتراء الناتج عن الأكسدة هو الأكثر ملاحظة. عندما تتأكسد أداة القطع أو مسادة العمل؛ فإن سطح الأداة، أما سيضعف لتأكسده مباشرة أو نتيجة تفاعله مع أكاسيد مادة العمل، والتي ستحرف بواسطة الرايش. كمثال عن اهتراء الأكسدة الاهتراء الذي يحدث على وجه الجرف للأدوات المدعمة بالكرييد عند تفريز الفولاذ بسرعات عالية. عند التفريز، حفرة الاهتراء تزداد بشدة بزيادة سرعة القطع بدرجة أكبر من عملية الخراطة. يوضح الشكل (٧-٥) زيادة كل من اهتراء الحفرة والوجه العامل بالنسبة لزمن الحركة القطع، وذلك من أجل سرعتي قطع مختلفتين، وذلك عند خراطة وتفريز ٠.٤٥% فولاذ كربون بسيط تحت شروط القطع نفسها من تغذية وعمق.



إنَّ الزيادة بنسبة الاهتراء بزيادة سرعة القطع أقل بكثير على الوجه العامل من على وجه الجرف، والاختلاف بين الخراطة و التفريز أقل بكثير على الوجه العامل أيضاً، من المحتمل أن يكون السبب نتيجة انخفاض درجة الحرارة على الوجه العامل. تكون حفرة الاهتراء على وجه الجرف تقريباً نفسها في الخراطة والتفريز عند سرعة قطع منخفضة نسبياً  $150 \text{ m/min}$ ، ولكن عند سرعة  $236 \text{ m/min}$  حفرة الاهتراء في الخراطة تزداد بسرعة أكثر بكثير من التفريز.

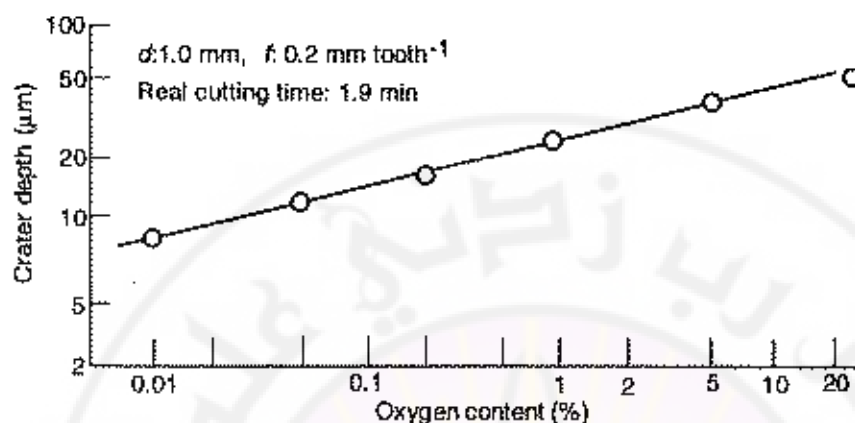


الشكل (٥-٧)

مقارنة الاهتراء عند التفريز والخراطة من أجل فولاذ ٠.٤٥ % كربون مع أداة مدعمة بالكربيد (P10)

يتم التحكم المباشر بتأثير الأوكسجين على اهتراء الأداة الكربيدية في التفريز من خلال مكثنة التحكم بالجو المحيط الشكل (٦-٧). ستخفض نسبة حفرة الاهتراء في التفريز

لمستوى يقارب الخراطة في شروط القطع نفسها بسرعة عالية، وذلك بتخفيض كمية الأوكسجين في الجو المحيط.

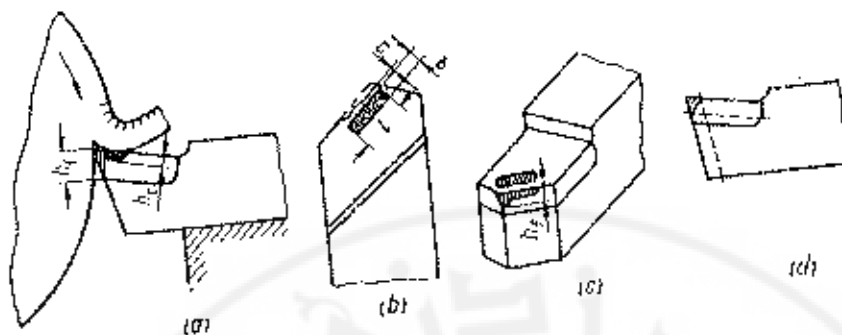


الشكل (٧-٦)

تأثير الأوكسجين على حفرة الاهتراء عند تفريز فولاذ ٠.٤٥ % كربون مع أداة كريدية (P10) عند سرعة القطع 239 m/min

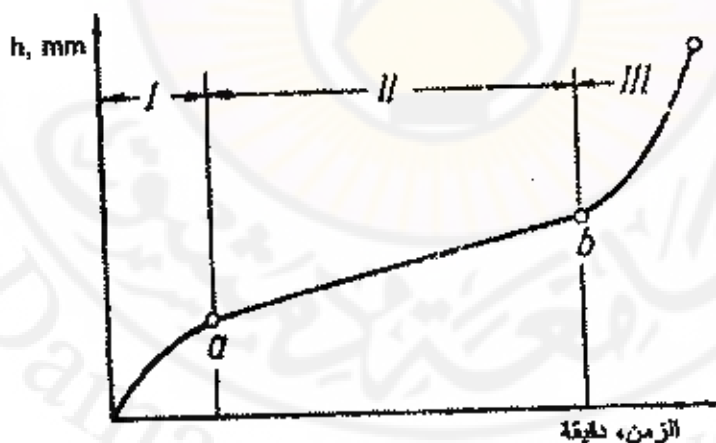
### ٧-٣- اهتراء القلم:

يتآكل القلم نتيجة لاحتكاك الرايش على وجه القلم و لاحتكاك جانب القلم مع المشغولة الشكل (٧-٧) ، و يتضمن اهتراء القلم انتزاع جزيئات مجهرية من السطح، كما يتضمن تحول الحد القاطع إلى رايش مجهري.



الشكل (٧-٧)  
أشكال اهتراء قلم القطع

يحدث الاهتراء في القلم بشكل عام على كل من الوجه والجانب، لكن تبعاً لظروف التشغيل سيكون نوعاً واحداً من التآكل هو المسيطر. يتصف اهتراء الجانب بالارتفاع  $h_r$  لشريط الاهتراء، بينما يتصف اهتراء الوجه بشكل رئيسي بالعمق  $h_c$  والعرض  $b$ ، و يعد الاهتراء الجانبي أخطر من الأمامي لأن الجانب ملتصق بالمشغولة.



الشكل (٧-٨)  
العلاقة بين زمن التشغيل للقلم والاهتراء

تقسم العلاقة بين زمن التشغيل للقلم والاهتراء إلى ثلاثة مناطق رئيسية حسب المخطط المبين في الشكل (٧-٨) .

- التآكل الأولي ( المنطقة I ) : حيث يحدث خلاله تآكل كبير للأجزاء الأكثر بروزاً من السطح وكلما كانت المسطوح أنعم قل الاحتكاك ومقدار التآكل .
- التآكل العادي ( المنطقة II ) : يحدث تآكل متدرج مع استمرار عمل القلم .
- التآكل السريع ( المنطقة III ) : يبدأ عندما يصل التآكل إلى درجة معينة تتغير فيها ظروف الاحتكاك بسبب درجة الحرارة العالية والضغط على القلم مسن ناحية الوجه .

#### ملاحظات :

- إذا وصل القلم إلى النقطة ( a ) ونمت عملية جملحه فإن ذلك غير اقتصادي لأنه سيكون من الضروري جملحه مجدداً بشكل دوري .
- من غير الملائم وصول القلم إلى النقطة ( c ) حيث إن طبقة سميكة من معدن القلم سيتم إزالتها خلال عملية الجملخ .
- لا يجوز الإفراط في التآكل لأسباب فنية معينة إذ عندما يصل تآكل الجانب إلى قيمة معينة تزداد قوى القطع، وترتفع درجة الحرارة، ويتلف إهواء السطوح وتنخفض دقة التشغيل و تتولد الاهتزازات .
- أقلام القطع ذات اللقم الكربيدية لا تمر بمرحلة التآكل السريع ( المرحلة III ) وذلك بسبب القساوة العالية للكربيدات ، كما أن تآكل هذه الأقلام يكون على الجانب أكثر منه على الوجه وبخاصة عند سرعات القطع المنخفضة .
- عند تشغيل المعادن الهشة كحديد الصب والبرونز ، يتآكل القلم بشكل رئيسي على الجانب دون اعتبار لمادة قلم القطع ، بسبب قدرة الاحتكاك القليلة للرايش المتفتت على وجه قلم القطع .

● أما في المعادن المتينة فإن التآكل يظهر في نمط أكثر تعقيداً ، إذ يسود تآكل الجانب عند السرعات المنخفضة عندما لا يتشكل حد متراكب ، كما يسود تآكل الوجه عند السرعات العالية حيث يتشكل الرايش المستمر الذي يضغط على سطح القلم مشكلاً حفرة التآكل .

أمد عمل القلم أو عمر القلم :

يعرف بأنه عبارة عن الزمن الذي يعمل فيه قلم القطع بشكل طبيعي ، إلى أن يتآكل ( أي هو الفترة الزمنية المحصورة بين عمليتي شحذ متتاليتين ) .

و تؤثر على أمد عمل القلم العوامل التالية :

- المادة المشغلة وخواصها .
- مادة القلم وزوايا القلم وشكل السطح الأمامي له وسرعة القطع ومساحة المقطع العرضي للطبقة المنزوعة وسائل التبريد .

إن زيادة قساوة أو متانة المادة المشغلة وكذلك قابليتها للتقسية تنقص من أمد عمل القلم، وذلك بسبب أن المادة الصلبة تبدي ضغطاً شديداً على القلم، و زيادة الضغط تؤدي إلى زيادة قوى الاحتكاك وكمية الحرارة، لذلك من الأفضل صناعة الأقلام من المواد المقاومة للحرارة التي تتحمل درجة حرارة أكبر دون أن تفقد شيئاً من صلابتها، ولذلك تكون الأقلام المزودة بلقم كريدية تتمتع بأمد عمل طويل مقارنة مع الأقلام المصنوعة من فولاذ السرعات العالية. تؤدي زيادة استدارة الحد القاطع إلى ازدياد تشوه الرايش وزيادة الاحتكاك وارتفاع درجة الحرارة، وبالتالي إلى زيادة التآكل على جانب القلم. وكلما نقص عمق القطع كان لاستدارة الحد القاطع فعالية أكبر لتشوه الرايش وبالتالي تآكل أكبر. كما أن استعمال سواكل التبريد يؤدي إلى تقليل التآكل.

إن زاوية الجرف (  $\gamma$  ) وزاوية الاقتراب الأفقية (  $\phi$  ) وشكل السطح الأمامي تؤثر تأثيراً كبيراً على عملية القطع و على سهولة انسياب الرايش وعلى لدونة السطح المعرض للتشغيل و على أمد عمل القلم، و أثناء عملية التخليخ تتغير الزوايا وشكل السطح الأمامي وبالتالي التوصل إلى زيادة أمد عمل القلم وإنتاجيته. تؤثر أبعاد القلم على أمد عمله، فكلما كبرت أبعاد القلم زادت كتلته، و بالتالي استطاع نقل الحرارة بشكل أفضل بعيداً عن الحد القاطع.

أما سرعة القطع فهي تؤثر بشكل خاص على أمد عمل القلم حيث إن الزيادة القليلة لها أحياناً تؤدي إلى التآكل السريع، فمثلاً إذا رفعت سرعة القطع عند تشغيل الفولاذ بقلم مصنوع من فولاذ السرعات العالية بمقدار ( 10 % ) فإن التآكل سيكون أسرع. عمريتين .

إن مساحة المقطع العرضي للطبقة المقطوعة يؤثر أيضاً على أمد عمل القلم حيث ينقص بزيادتها أمد عمل القلم، و لكن ليس بالمقدار الذي يؤثر به سرعة القطع، لهذا يعمل عمال الحرارة دائماً على رفع التسامح بشروط واحد بأكبر تغذية ممكنة.

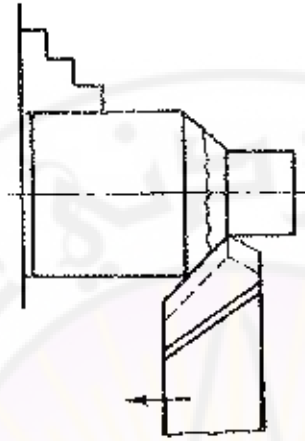
**قواعد الحكم على فشل القلم ( ضرورة إعادة شحنه ):**

**أولاً : قاعدة الخط العريض:**

ويكون ذلك عندما يظهر خط عريض على سطح القطع عند تشغيل الفولاذ أو يقع مظلمة غامقة عند تشغيل حديد الصب الشكل (٧-٩).

يفسر ذلك بأن أجزاء من الحد القاطع بدأت تتحول إلى رايش، وإن حدوث الخط العريض يناظر بداية المنطقة الثالثة من منحنى التآكل ، فإذا استمرت عملية القطع فإن الحد القاطع سينهار خلال دقيقة أو دقيقتين، و لا تستخدم هذه القاعدة إلا في عملية الإنهاء.

أثناء التشغيل بالقلم الكريدية من الصعب ملاحظة الخط العريض، وكذلك أثناء تشغيل حديد الصب. يمثل هذه الأقلام هناك صعوبة في اكتشاف البقع المظلمة على سطح القطع.



الشكل (٧-٩)  
قاعدة الخط العريض

ثانياً : قاعدة القوة:

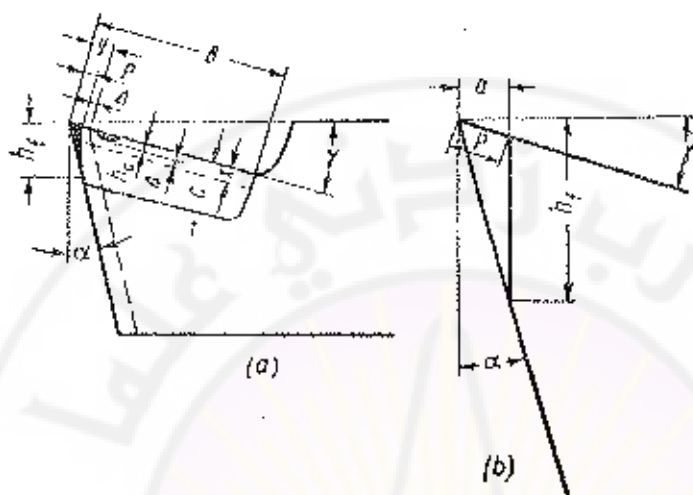
يمكن اعتبار القلم فاشلاً عندما تبدأ قوى القطع وخاصة  $F_y$  و  $F_x$  في الزيادة بشدة، وعيب هذه الطريقة ضرورة تجهيز المخارط بأجهزة قياس القوى بشكل مستمر ودائم ولذلك فهي قاعدة غير عملية في الورشات.

ثالثاً : قاعدة التآكل المثالي:

التآكل المثالي هو التآكل الذي يجعل زمن الخدمة لقلم القطع أطول ما يمكن ، فسالعمر الكلي للخدمة  $M$  يمكن حسابه بالعلاقة :

$$M = K.T$$

حيث  $K$  عدد مرات التجليخ التي تسمح بها قمة القلم للقيمة المعطاة للتآكل.  
 أما  $T$  فهي الفترة الزمنية بين عمليتي تجليخ ( وقت التشغيل - عمر القلم ) الشكل  
 (٧-١٠).



الشكل (٧-١٠)

عناصر الاهتراء وتجليخ القلم

حساب  $K$  عدد مرات التجليخ كنابع لتآكل الوجه :

$$K_t = \left( \frac{\frac{2}{3} c}{x} \right) = \left( \frac{\frac{2}{3} c}{h_c + \Delta} \right)$$

النسبة  $\frac{2}{3}$  لأننا لا نستطيع استهلاك كامل ارتفاع القمة .

$c$  - ارتفاع سماكة القمة ( اللقمة في القلم ) .

$x$  - الطبقة المزالة في تجليخ وجه القلم عند شحذه (mm) .

$\Delta$  - تسامح الشحذ على وجه القلم ويساوي (0.1 → 0.2 mm) .



حساب  $K$  عدد مرات الجليخ كتابع لتآكل الجانب ( عرض اللقمة ):

$$K_2 = \left( \frac{\frac{2}{3} B}{y} \right) = \left( \frac{\frac{2}{3} B}{\frac{h_f \cdot \tan \alpha}{\cos \gamma} + \Delta} \right)$$

$H$  - عرض القمة في اتجاه عمودي على الحد القاطع (mm).

$y$  - البقعة المزالة في شحذ جانب القلم وهي مقاسة على مدى عرض القمة.

( يمكن الاستعاضة عن تعبير القمة باللقمة في حال كان الحد القاطع عبارة عن لقم ) .

وابعاً : قاعدة المعالجة المتعاقبة:

تستخدم هذه القاعدة للأقلام المصممة من أجل الاستخدام في أعمال الإنهاء بشكل أساسي ، إن هذه القاعدة تأخذ باعتبارها أن القلم قد فشل ما أن يبدأ السطح المشغل في الفشل طبقاً لظروف التشغيل والورشة .

وتستعمل هذه القاعدة في الآلات المؤتمتة ، بحيث نستدل بطريقة التحارب على الزمن الذي يستطيع القلم أن يعمل بشكل صحيح .

## ٧-٤ - دراسة حالة - آلية اهتراء أدوات القطع المصنوعة من فولاذ

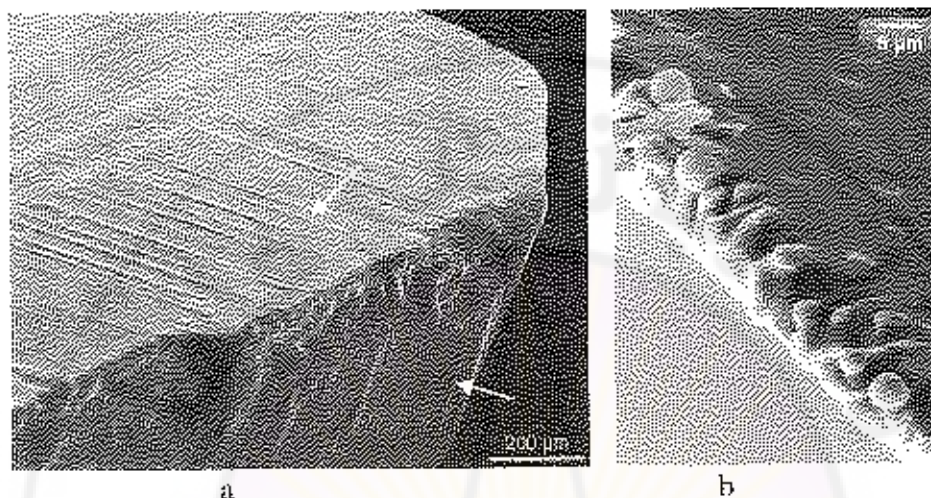
سريع القطع:

٧-٤-١ - آلية الاهتراء لأدوات القطع غير المطلية:

١- الاهتراء التآكلي: Abrasive wear

يكون هذا الاهتراء بأحد شكلين، إما اهتراء جانبي أو اهتراء تفريغي (يصنع حفرة) على طرف نهاية أداة القطع HSS الشكل (٧-١١). إن الاهتراء والتشقق الذي يظهر على هذه العينة ناتج عن فعل الكشط (الحت) الذي تقوم به الجزيئات الصلبة الموجودة

في المادة المشغلة. ومن أجل توفير الحماية ضد فعل الكشط والحث الصغير جداً يمكن الحد من الاهتراء التآكلي وتقليله بواسطة إحدى طريقتين: إما باستخدام قوة الخضوع الكبيرة (أي المساواة العالية) أو حجم كريدات كبير في مادة HSS.



الشكل (٧-١١)

مظهر نموذجي للاهتراء التآكلي

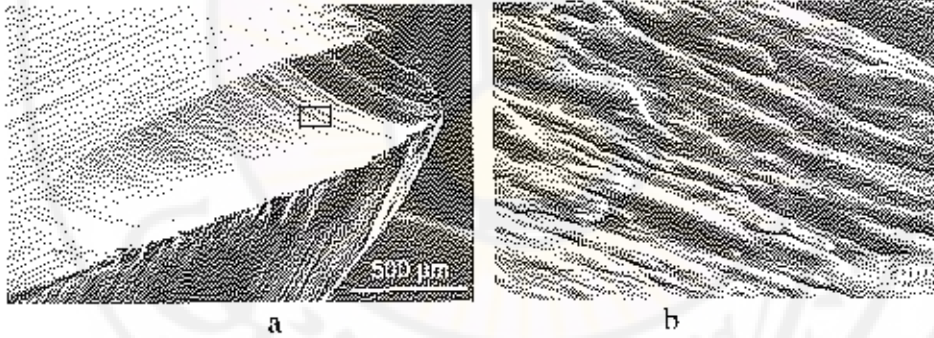
(a) الاهتراء يظهر بأحد شكلين إما اهتراء جانبي أو بشكل تفريغي، وهو يظهر بوضوح على أداة القطع هذه. إن الأسهم تشير إلى الأماكن من قلم القطع HSS والتي تكون ذات مقاومة عالية نسبياً ضد فعل الكشط. وهناك أيضاً ظهور لتفتت أحرف القلم مع العلم أن المادة المشغلة هي فولاذ كربوني.

(b) سكين الورق: يظهر اهتراء دقيق جداً و تكون مقاومة الاهتراء فيه ناتجة فقط عن الكريدات القاسية.

## ٢- الاهتراء الالتصافي:

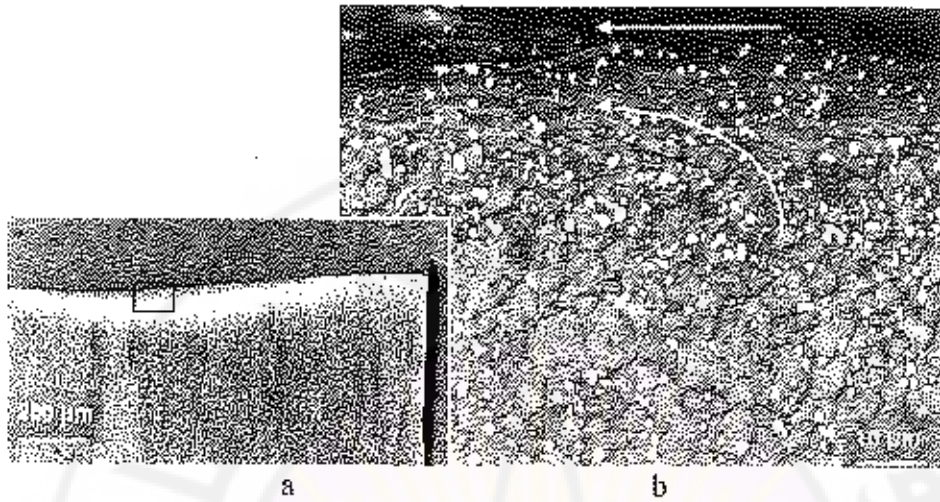
يبين الشكل (٧-١٢) اهتراء سن التفريز على شكل اهتراء تآكلي. هذا يعني جزئيات صلبة موجودة في المادة المشغلة تقوم بحرف المادة المصنوع منها سن التفريز. ولكن باستخدام قوة تكبير أعلى تكشف أن هناك ازدواجاً لكل من الاهتراء التآكلي والاهتراء الالتصافي معاً. إن هذا الاهتراء الالتصافي ناتج عن تشقق المادة السطحية بفعل قوى قص عالية الشدة، وينتج عن ذلك حفر بطيء للطبقة السطحية وإزالة جزئيات صغيرة الحجم باتجاه الدوران. وإذا تم استخدام أداة القطع في الحدود العليا لمقاومتها الحرارية فإن احتكاكاً التصافياً جديداً يمكن أن ينتج الشكل (٧-١٣) ، ويظهر الاهتراء الالتصافي على جوانب أداة القطع أو بشكل تفرغي.

إذا وصلت درجة حرارة نهايات أداة القطع إلى مقدار كبير ( سرعة القطع عالية) فإن الاحتكاك الالتصافي هو أكثر انتشاراً أو حدوثاً عند تشغيل مادة قاسية جداً.



الشكل (٧-١٢)

- اهتراء جانبي لأداة تفريز تم استخدامها في تفريز فولاذ منخفض الكربون.
- (a) بواسطة التكبير منخفض الشدة - آلية الاهتراء الظاهرة تبدو أنها اهتراء تآكلي.
- (b) بواسطة التكبير مرتفع الشدة - يظهر أن الاهتراء هو اهتراء التصافي.



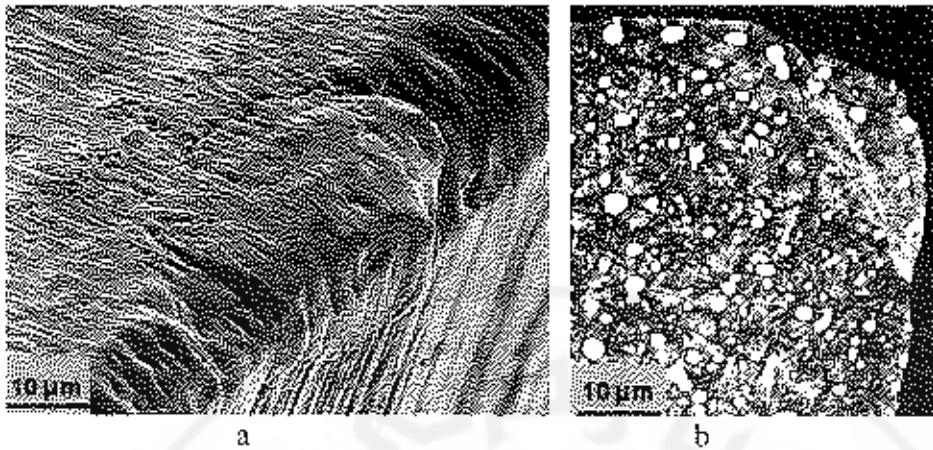
الشكل (٧-١٣)

- اهتراء جانبي لأداة تفريز في الحدود العليا لمقاومتها الحرارية
- (a) بالتصوير الميكروي لمقطع عرضي في سن لأداة قطع بعد تشغيل فولاذ ستانلس أوستيني.
- (b) السهمان يدلان على اتجاه المادة السطحية على الترتيب، السهم الأخير يدل على الاهتراء التآكلي.

### ٣- التشوه اللدن الكبير

أحياناً تكون نهاية أداة القطع IIS محملة قوى تفوق مقدار قوة الخضوع لديها وهذا يؤدي إلى حدوث التشوه اللدن الشكل (٧-١٤).





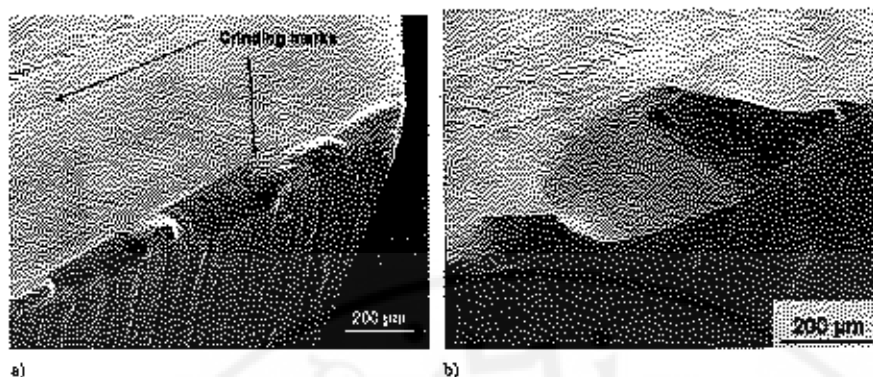
الشكل (٧-١٤)

التشوه اللدن لنهاية أداة القاطع HSS

- (a) إن حرف أداة القاطع ظاهر في منتصف الشكل قد انزاح إلى الأسفل، وهو سوف يترك الحافة الأساسية ليضع حافة جديدة.
- (b) مقطع عرضي لنهاية مشوهة بشكل لدن يظهر دلالات لتمزيق أدياتي.

#### ٤- التعب والتحطم:

يمكن أن يحدث التحطم الميكروي للأداة بكاملها، ولكن حدوثه نادر جداً. الأمر الأكثر حدوثاً هو تفتت مكاني لنهاية طرف أداة القاطع. يلاحظ في الشكل (٧-١٥) أن عملية التفتت تبدو كآثار تجليخ تتوالى بشكل مواز كافة أداة القاطع.



الشكل (٧-١٥)

### التعب والتحطم

(a) حافة أداة القطع تكون صغيرة وذلك ناتج عن التعب والتحميل الزائد الميكاني على السن.

(b) تكون الحافة أكبر.

### ٧-٤-٢- آلية الاهتراء للأدوات المغطية:

أصبحت طريقة الترسيب البخاري (PVD) أساسية في طلاء أدوات القطع HSS، وفي يومنا هذا فإن من أشهر أنواع الطلاء السيراميكي. إن طبقة رقيقة من الطلاء المرسب بطريقة الترسيب البخاري (PVD) تتراوح سماكتها من  $(1 \rightarrow 10 \mu m)$  يمكنها أن تحمي حافة أداة القطع، وذلك بتقليل الاحتكاك بين أداة القطع والمادة المشغلة خاصة بين الرايش ومستوي الجرف.

إن الطلاءات تجمع بين القساوة المرتفعة (لمقاومة الاهتراء التآكلي) مع المستوى المنخفض لقابلية التفاعل الكيميائي مع المواد المعدنية (أي قابلية ذوبان منخفضة). وهذا

يعطي حماية من قابلية حدوث التآكل والذي يسبب الالتصاق. بالإضافة إلى ذلك فإن معظم طلاءات الترسيب البخاري PVD المنتشرة في يومنا هذا تفشل في أداء وظيفتها بسبب التعب وكشط الطبقات السطحية المحدود أكثر من فشلها بسبب الاهتراء البطيء المتدرج.

عندما تزول طبقة الطلاء فإن آلية الاهتراء لأدوات القطع المطلية هي نفسها لغير المطلية. ولكن بالحقيقة يكون الاهتراء أشد لأننا نستخدم بارامترات تشغيل أعلى عند استخدام أدوات القطع المطلية منها عندما تستخدم غير المطلية.

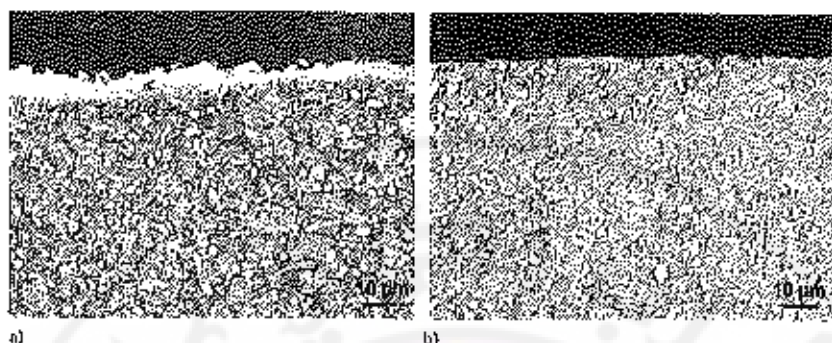
#### زوال طبقة الطلاء بسبب فقر طبقة الترسيب:

هناك حالتان أساسيتان لظاهرة فشل عملية الترسيب للطلاء على أداة القطع وهما:

- تكون درجة حرارة السطح خلال عملية الصقل والشحذ عالية بحيث تصل إلى درجة أعلى من درجة حرارة تشكل الأوستنيت، وهذا يؤدي إلى طبقات بنية قاسية من المارتنيسيت غير المرجح (الشكل ٧-١٦).

تسبب طلاءات الترسيب البخاري PVD على أدوات القطع HSS إجهادات ضغط داخلية حوالي ( 5 → 1 ) غيغا باسكال. ويولد طلاء (TIN) المرسب على HSS إجهاد ضغط متبقٍ حوالي 4 GPa. هذا الإجهاد يقوم بدور إيجابي في تماسك الطلاء، ولكن لديه دوراً سلبياً بسبب قابلية التآكل مع طبقة الترسيب. إن الجمع بين السطح الخشن وإجهادات الضغط العالية جداً يمكن أن يسبب كشطاً للطبقات السطحية بدون أية أحمال خارجية. والسبب يكمن في الإجهادات الجانبية المؤثرة على سطح طبقة الطلاء كما هو موضح في الشكل (٧-١٧). إذا تم تحميل مثل هذا النظام بأحمال خارجية، فإن ذلك يسهل من حدوث إزالة للطبقات السطحية على طول المناطق المعرضة لإجهاد شد أعظمي. هذا يعني على طول الأطراف الخشنة لأداة القطع

( الشكل ٧-١٧ b ). وهذه المناطق الخشنة هي نتيجة عملية الشحذ (الصقل) الخشنة جداً أو استخدام بارمترات صقل غير صحيحة.



الشكل (٧ - ١٦)

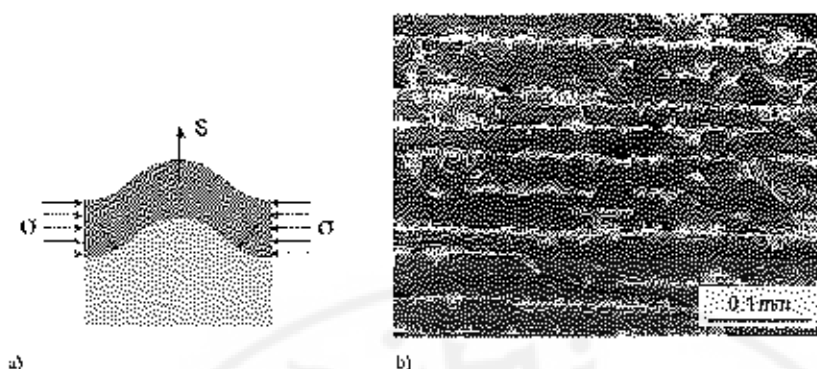
مقطع عرضي لأداة قطع من فولاذ سريع القاطع يستخدم للإهاء السطحي:  
(a) طبقة سطحية من المارتنيسيت غير المرجح بسبب توليد الحرارة المفرط خلال عملية الإهاء (الصقل). (b) أداة قطع HSS تم تشغيلها لتشغيل نهائي.

- مثال آخر على عدم نجاح طبقة الطلاء موضح بالشكل (٧ - ١٨). إن هذا الشكل يبين أن الشقوق المتشكلة في طبقة الطلاء يمكن أن تنتشر وتصل إلى طبقات المعدن HSS المتوضعة أسفل منها. وعند التعرض للتعب يمكن أن تسبب تصدعات وحتى تحطم حواف نهاية قلم القاطع بمقاييس كبيرة.

زوال طبقات الطلاء بسبب التطرية الحرارية لطبقة الترسيب:

عندما تصل درجة حرارة الطبقة المرسبة على HSS إلى مستوى درجة حرارة التطرية الفعلية فإنها عند ذلك لا تستطيل وتتحطم طبقات الطلاء القاسية. يلاحظ في الشكل (٧-١٩) التباين المعتم لمنطقة التآكل تحت طبقة الطلاء، الذي سببه التطرية الحرارية أو التآكل تحت طبقة الطلاء الذي سببه التطرية الحرارية أو الإرجاع الزائد. إن الجزئيات المنحطمة لطبقة الطلاء تنفصل من السطح على هيئة جزئيات صغيرة.

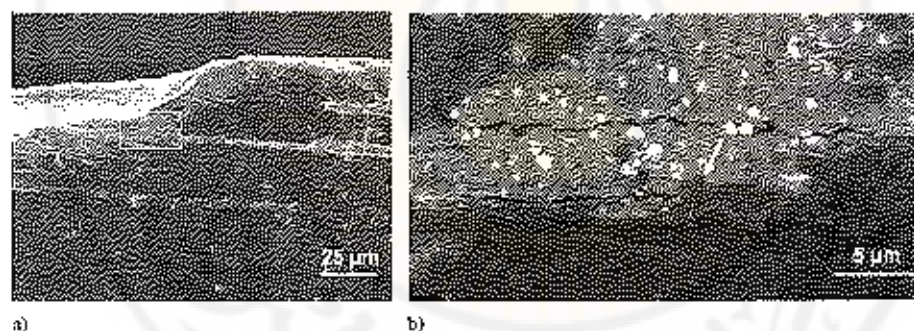




الشكل (٧- ١٧)

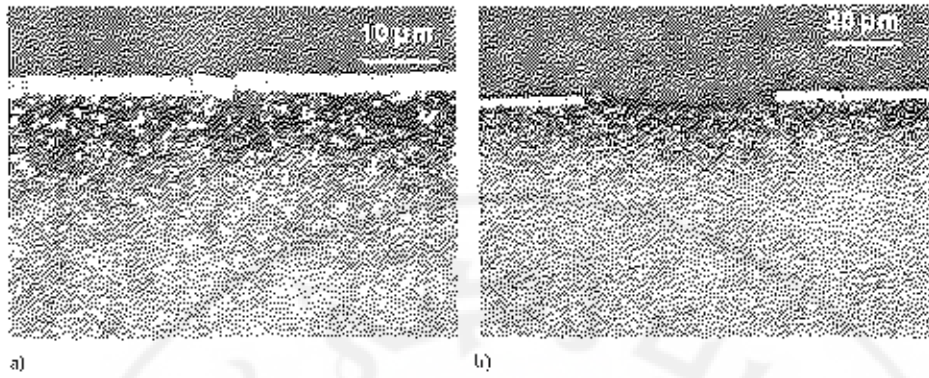
الإجهادات الجانبية المؤثرة على سطح طبقة الطلاء

(a) إن  $\sigma$  هو الإجهاد الجاني الضاغط الذي يوجد في معظم أنواع الطلاء بالترسيب البخاري (PVD) وهذا الإجهاد سوف يولد إجهاداً سطحياً ( $S$ ) في المنطقة العلوية من حزوز الصقل. (b) هذه الحزوز يمكن أن تنتج من عملية الإنهاء الخشنة عن طلاء (TIN) يتعرض لكشط الطبقة السطحية على طول حزوز الصقل في أداة القطع HSS.



الشكل (٧- ١٨)

تشكل الشقوق التعبية (التصدعات) الميكروسكوبية على سطح الجرف وقرية من حافة السن. الذي كان يقوم بتشغيل الفولاذ الكربوني - لاحظ أن اتجاه الشقوق متوافق مع اتجاه التشغيل الإنهائي السطحي.



الشكل (٧-١٩)

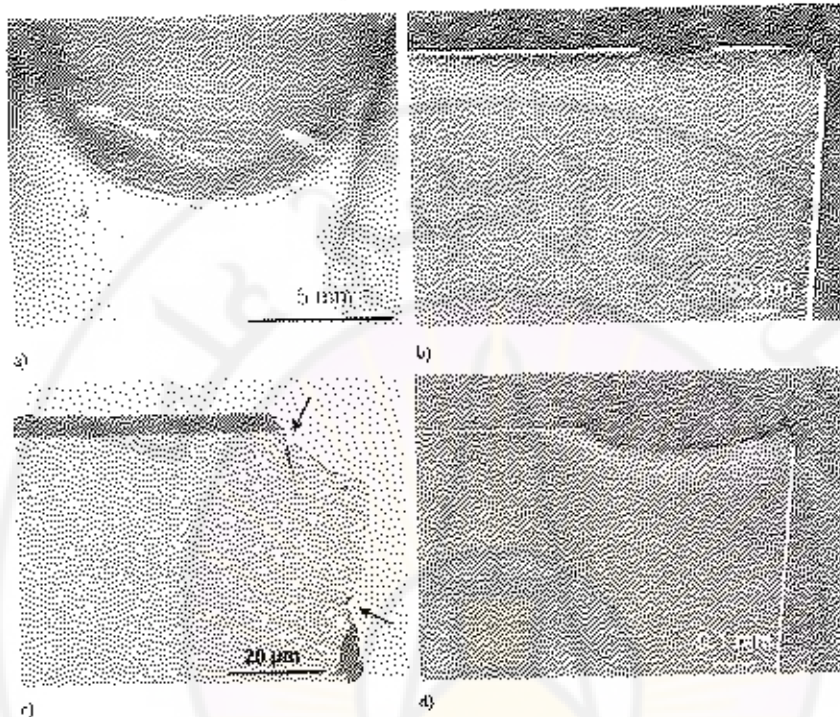
انفصال جزيئات من طبقة الطلاء لسن أداة القطع المستخدمة في تصنيع المسننات من الفولاذ الكربوني

- (a): يفتت الطلاء بسبب التطرية الحرارية لطبقة الترسيب.  
 (b): زوال جزيئات صغيرة وحدوث اهتراء لمادة HSS المتوضعة تحت طبقة الطلاء ---  
 إن سماكة الجزيئات المنفصلة بمائلة لسماكة طبقة الطلاء.

#### ٧-٤-٣- انتشار وتطور اهتراء الحافة:

يظهر الاهتراء إما كعرض محدد لجانب أداة القطع أو وجه الجرف. أو كخشونة ظاهرة على الحافة. يوضح الشكل (٧-٢٠) تطور حفرة كبيرة في سن مطلي بـ (TiN) إن المادة المشغلة كانت هي الفولاذ الكربوني والاهتراء الذي يتحكم بطول عمر أداة القطع ظهر على وجه الجرف. بدايةً عانى سن التشغيل من تحطم حوافه بشكل محدد. في الوقت نفسه كانت هناك تطرية حرارية تحدث لمادة أداة القطع في منطقة وجه الجرف (الإرجاع الزائد موضح بالمنطقة القائمة الموجودة في طبقة الطلاء)، وهي تقلل

من قدرة تحمل الطلاء للأحمال المطبقة وهذا الطلاء يتعرض للعطب بسبب التشققات والتحطم. وعند زوال الطلاء يزداد حجم الحفرة الموجودة في مادة HSS غير المغطاة بالطلاء وذلك بسرعة كبيرة بسبب الاهتراء التآكلي الشديد.



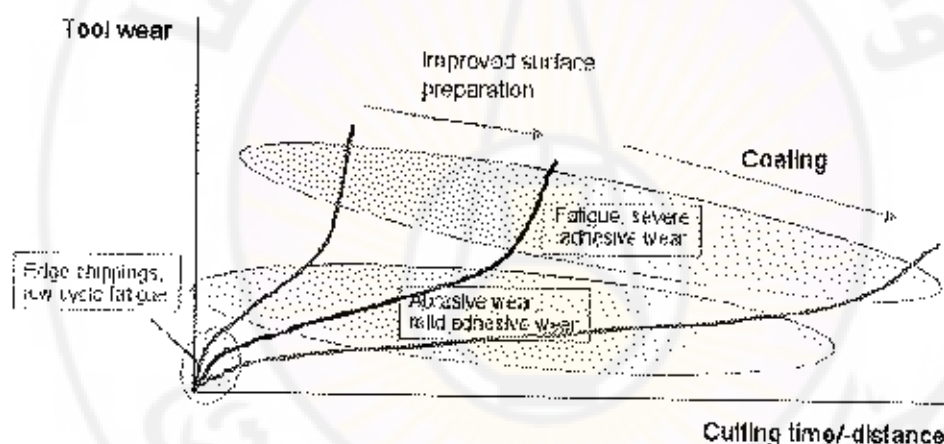
الشكل (٧-٢٠)

الاهتراء المتزايد لطلاء سن التشغيل المطلي بـ (TiN) الموضح من خلال مقطع عرضي.

- (a): توضح شكل سن واحد من أداة القطع.
- (b): المرحلة البدائية لتحطم الحواف والتطرية الحرارية لطبقة الطلاء وذلك في وجه الجرف.
- (c): منظر أقرب لتحطم الحواف في المقطع العرضي. لاحظ الشقوق التي تمتد نحو الداخل من وجه الجرف ووجه التنظيف. (d): المرحلة النهائية للاهتراء الحاد.

يحدث الاهتراء الابتدائي عادةً على تحشين على حافة أداة القطع ويتبع هذا التحشين اهتراء خطي ثابت ناتج عن الاهتراء التآكلي والالتصاقي معاً. إن التحشين التدريجي هو أحد الأسباب الرئيسية وراء درجة الحرارة المتزايدة للحافة، وأخيراً يحدث حالة من الاهتراء المتسارع غير الحافة أو يحدث تشوه لدن حاد.

يتبين أيضاً من الشكل (٧-٢١) أن تنعيم سطح أداة القطع وجعل الحافة حادة سوف يطيل عمر أداة القطع. وهذا يتم تحقيقه عبر الطلاء. ومع ذلك فإن مقاومة الاهتراء التي يوفرها الطلاء عادةً تستعمل لزيادة الإنتاجية أكثر من استعمالها لإطالة عمر أداة القطع.



الشكل (٧-٢١)

تطور اهتراء أداة القطع - المنحنيات الثلاث تمثل الاهتراء (البدئي) - الثابت - المتسارع) على الترتيب. تم أيضاً توضيح تأثيرات تحضير سطح أداة القطع وطبقة الطلاء.



### ٧-٤-٣- خطوات باتجاه تحسين أداء أدوات القطع HSS:

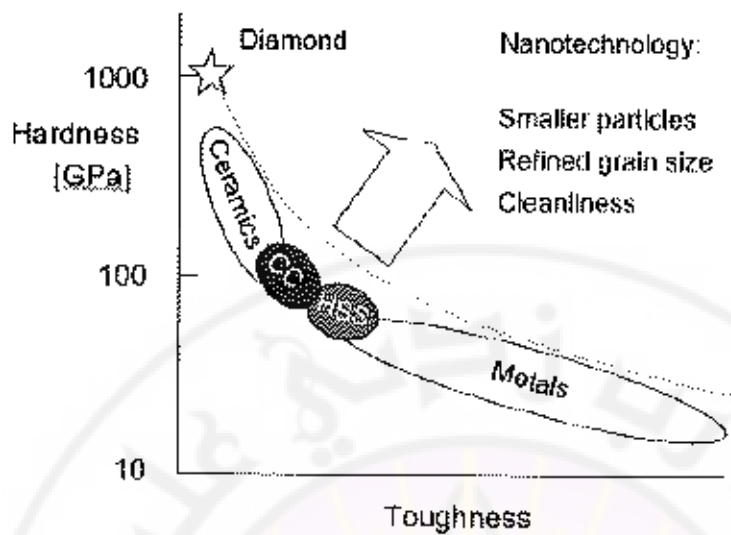
#### أ- تحسين مادة HSS:

من آلية الاهتراء التي تم توضيحها لأدوات القطع HSS يمكننا أن نصل إلى نتيجة أن كل من القساوة، المقاومة الحرارية (القساوة الحرارية) ومقاومة التحطم الماكرو سكوبية والميكرو سكوبية كل تلك الصفات يتطلبها الأداء العالي لأداة القطع.

إن التطور السابق لـ HSS كان مركزاً على تجانس وخلو الفولاذ HSS من الشوائب. ومن خلال تكنولوجيا (PM ميتالورجيا المساحيق) فإنه من الممكن أن نحقق بنية متجانسة وذات حبيبات دقيقة. ولكن مع ذلك فإن الباحثين يعتقدون أنه من الممكن أن تطور أيضاً كل من القساوة، ونسبة مقاومة التحطم كما هو موضح الشكل ٧-٢٢ بواسطة تقليل حجم حبيبات المادة بشكل أكثر، وأيضاً جزئيات المطور الصلب إلى مجال النانومتر (بتطبيق تقنيات النانومتر) يمكننا عندها أن نصل إلى مرحلة أكبر من زيادة القساوة ومقاومة التحطم واللتين ترتبطان ببعضهما بعلاقة.

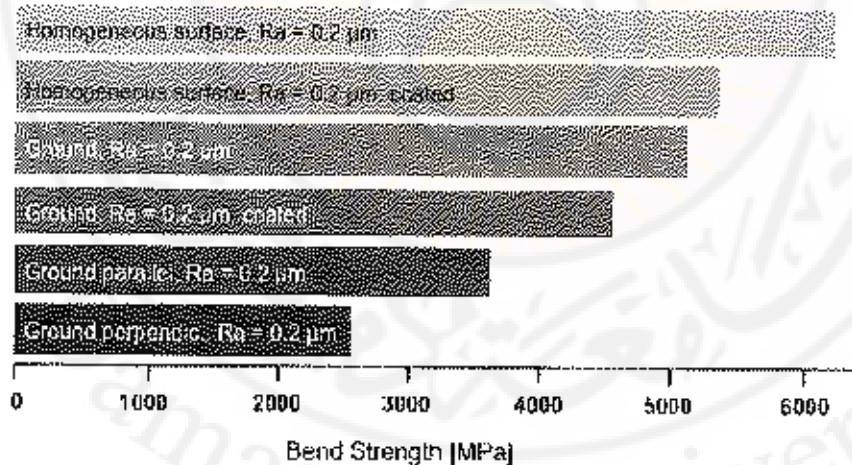
#### ب- تحسين سلامة السطح:

خطوة أخرى لتحسين أداء HSS هي تحسين جودة إنهاء السطح. هذا يعني منع تدهور الطبقة السطحية لمادة HSS والذي يحدث بسبب توليد الحرارة المتجاوزة الحدود. إن المتانة الميكرو سكوبية ومقاومة تحطم حواف أداة القطع (HSS) حساسة جداً لعيوب السطح المتولدة خلال عملية إنهاء السطح، انظر الشكل (٧-٢٣) ولذلك يجب أن يتم إنجاز حافة أداة القطع بشكل دقيق من أجل منع حدوث انهيار قبل الأوان. إن سطح أداة القطع الناعم يساهم في مقاومة الشقوق الميكروية، ويمنع حدوث كشط لطبقة الطلاء.



الشكل (٧-٢٢)

نلاحظ من الشكل أن تقليل من حجم الحبيبات المكونة للمادة وزيادة نقاوة المادة تزيد من القساوة ومقاومة التآكل.



الشكل (٧-٢٣)

يوضح الشكل أن أربع نقاط للتآكل الانحناء توضح تأثير حالة السطح على المتانة

## الفصل الثامن

### نوعية السطوح المشغلة

٨-١- أثر نوعية السطح على مواصفات المشغلة

٨-٢- تشكيل التواءات الميكروية

٨-٣- العوامل المؤثرة في خشونة السطوح المشغلة

٨-٤- نوعية السطوح وكفاءة المشغولات





تعدّ جودة سطوح المشغولات من أهم متطلبات تشغيل المعادن، وخاصة سطوح أجزاء الآلات التي يتم تشغيلها بالأساليب المختلفة لقطع المعادن نظراً لارتباطها معاً في ازواجات. إن فترة الخدمة في الزمن الحاضر حيث السرعات العالية والطاقات الكبيرة للتشغيل لا تعتمد فقط على النوعية والمعالجة الحرارية للمعادن التي هي إحدى عناصرها، ولكن أيضاً على نوعية السطح الناتج في تشغيل الأجزاء.

إن الخواص المميزة لأي سطح مشغل تتحدد بدقة التصنيع مع الأخذ بعين الاعتبار الصفات والأبعاد التي حددها المصمم، وعلى خواصها الميكانيكية والفيزيائية والخشونة الناتجة في التشغيل. تعتمد الصفات الفيزيائية والميكانيكية للسطوح المشغلة بشكل رئيسي على الحالة الكيميائية للمعدن المعطى، وعلى البنية الميكروية والقوة والقساوة والإجهادات الداخلية ومقاومة التآكل ومقاومة الاهتراء والصدأ. إن خشونة سسطح مشغل التي هي مجموعة النتوءات الميكروية (نسبياً نتوءات متمركزة صغيرة وفراغات بينها) تحدد بالارتفاعات والأبعاد والاتجاه بدءاً من سطح النموذج السائد الأساسي.

#### ٨-١- أثر نوعية السطح على مواصفات المشغولة:

إن خشونة السطح المشغل تؤثر كثيراً في مقاومة التآكل لسطوح الجزء والقوى المؤثرة ومقاومة الاهتراء والصدأ، وفي إمكانية تثبيت الوصلات للأجزاء المتزاوجة. مقاومة الاهتراء لسطحين محتكين تعتمد لمدى كبير على الضغط النوعي بين هذين السطحين. إن النتوءات الميكروية على السطوح تقلل مساحة التماس بين السطحين، لذلك يزداد الضغط النوعي والحرارة على نقاط التماس. وهذه تؤدي إلى سحق مركز وقص وكسر للنقاط البارزة على كلا السطحين، وهذا يؤدي إلى زيادة تآكل السطوح. بسبب ظهور النتوءات الميكروية على السطح بجميع إجهادات موضعية على قعر

التنوعات بين الحفر. وهذا بدوره ربما يؤدي إلى تشكل الشقوق التي تنخفض بشكل جوهري مقاومة العنصر.

تقلل الخشونة للسطح المشكل إمكانية اعتماده في الوصلات الثابتة بين عنصرين بسبب أنه عندما ينضغط أحد العنصرين في الآخر تنكسر التنوعات مقللة التداخل المصمم لتوافق العنصرين. وبالتالي فإن خشونة السطوح المشغلة تقوم بدور هام في انجاز الأجزاء المشكلة، لكن نوعية السطح المشغل لا تتحدد فقط بالخشونة لأن العوامل الأخرى لها أثر هام على إمكانية استخدام العنصر.

وهكذا فإن مقاومة الاهتراء للسطوح المشغلة للعنصر (كمثال عمود صلب يدور على محور جانبي) تعتمد بالإضافة إلى الخشونة، على درجة ومدى (عمق) التقسية وعلى درجة كبر الإجهادات المتبقية (الداخلية) في الطبقة السطحية. وعدا عن ذلك فيمكن أن يحدث وضع يؤدي إلى حدوث تغيير في بعض متغيرات القطع (مثال ذلك زيادة التغذية) يمكن أن تقود من جهة إلى تقليل مقاومة الاهتراء (بسبب زيادة الخشونة) ومن جهة ثانية إلى زيادة مقاومة الاهتراء (بسبب زيادة التقسية السطحية).

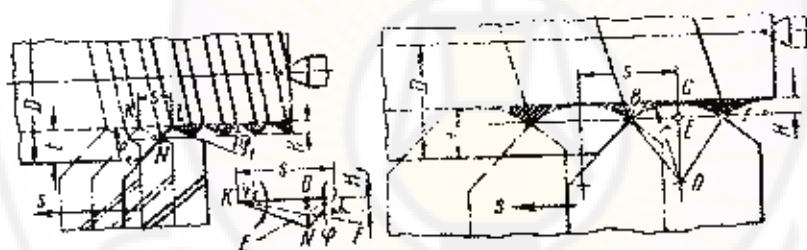
فتبعاً لأي من هذه العوامل التي تسود فإن مقاومة الاهتراء إما أن تزيد أو تنخفض مع زيادة التغذية. في هذه الحالة فإن التقسية نتيجة التشغيل للطبقة السطحية تعزز زيادة مقاومة الاهتراء إذا لم ترافق بتقليل الإجهادات المتبقية التي لها أكبر الأثر على مقاومة الاهتراء.

تقسية التشغيل والإجهادات الداخلية في الطبقة السطحية لسطح مشغل لها أثر على مقاومة التعب للجزء المشغل. وقد أظهرت الأبحاث أنه كلما قلت خشونة السطوح المشغلة زاد عمق ودرجة تقسية التشغيل وإجهادات الضغط المتبقية في الطبقة السطحية

وزادت مقاومة التعب للجزء، إلا أن تواجد إجهادات الشد الداخلية من ناحية ثانية يقلل المقاومة للتعب. وإجهادات الضغط المتبقية (الداخلية) تقلل أيضاً آثار التآكل والاهتراء.

## ٨-٢- تشكيل النتوءات الميكروية:

تعود الأبحاث على تشكيل النتوءات الميكروية في السطوح المشغلة إلى عام ١٨٧٣ عندما أوجد العالم شبيشيف أول علاقة لحساب ارتفاع النتوءات الميكروية لتفريز خارجي وبمساعده قوالب لتقدير أبعاد الأجزاء ودرجة إنهاء السطوح. يبين الشكل (٨-١) المنظر الجانبي للسطوح المشغلة كنتيجة لعملية . مع يسارية بقلم قطع.



شكل (٨-١)

مظهر الأسطح المشغلة

(a) عند الخراطة بقلم له رأس نصف قطره استدارته  $r = 0$  صفر

(b) في توليد السطح بالقطع المنحني للحد القاطع

عند الخراطة بقلم قطع أحادي فيه قطر الأنف  $r=0$  صفر، الشكل (a-1-8) يمكن إيجاد ارتفاع التواءات  $H$  من المعادلة النظرية التالية:

$$KO = ON / \tan \varphi_1$$

$$OL = ON / \tan \varphi = H / \tan \varphi_1$$

ومنه:

إذا كان الشكل الجانبي النظري للسطح المشغل هو أثر ناتج عن جزء الخط المنحني  $BCF$  للمحد القاطع الذي له نصف القطر (شكل a-1-8) فإن الارتفاع  $H$  للتواءات يمكن إيجاد ه من المعادلة التالية:

من المثلث  $OBE$  القائم

بتحليل العلاقات الناتجة نجد أن ارتفاعات التواءات (الخشونة) ينخفض بتخفيض مقدار التغذية، وزاوية الاقتراب المستوية وزاوية الاقتراب الثانوية مع تقليل نصف

قطر استدارة أنف القلم ٣. إن هذا موضح بالشكل (٨-١-٨) بالنسبة للزوايا  
 19 حيث إنه عند تخفيض قيمة الزاوية (بالنسبة للخط LE) وقيمة  
 الزاوية (بالنسبة للخط KF) فإن ارتفاع التواء سيكون أقل من الارتفاع  
 الأولي .

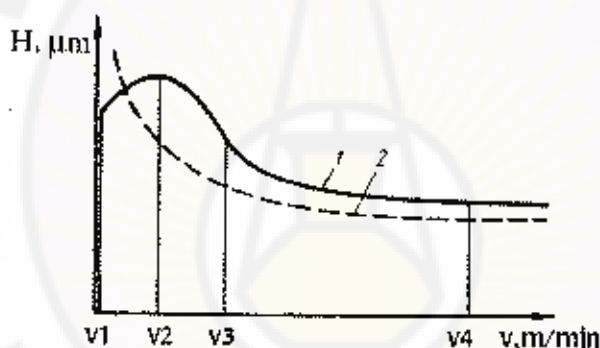
يكون المظهر الجانبي الفعلي للسطح المشغل أخشن من النظري، وإن الارتفاع  $a$   
 نتوئاته أعرض نوعاً ما من القيمة النظرية . السبب الرئيسي للاختلاف الكبير بين  
 الحساب النظري والبروفيل الفعلي ناتج عن التشوه المرن واللدن لطبقات السطوح.  
 القيمة تتأثر بشدة بالتشوه الدوري للحد المتراكب، ويقوي الاحتكاك التي تؤثر  
 باستمرار بين جانب قلم القطع والسطح المشغل، وتؤدي إلى تمزق المعدن في الطبقات  
 السطحية، لذلك فإنه مع أثر  $S$  ، ، ، فإن خشونة "القياسات الميكروية"  
 السطح المشغل تتأثر بواسطة عملية تشوه الرايش وبعض العوامل الأخرى، مما فيها  
 سرعة القطع وخصائص المعدن المقطوع وزاوية الجرف ومائل القطع والتشوه المرن  
 للسطح وخشونة الحد القاطع للقلم اهتراء القلم.

### ٨-٣- العوامل المؤثرة في خشونة السطوح المشغلة:

تعد كل عوامل التشغيل مجتمعة مشتركة في النتيجة التي يخرج عليها السطح بعد  
 الانتهاء من عملية القطع. فكلما كانت هذه العوامل على درجة عالية من الكفاءة  
 ارتفعت جودة السطح الناتج.

### ٨-٣-١ - تأثير سرعة القطع:

فهي سرعة القطع المناسبة أفضل الظروف للقطع الجيد، ومع مراعاة عدم تجاوز الحد الأقصى المسموح به لسرعات القطع نجد أنه كلما ارتفعت سرعة القطع أنخفضت سطوحاً أجود نظراً لخروج الرايش بشكل انسيابي، وتلاشي احتمال وتكون الحد المتراكب على أن يرتبط ارتفاع سرعة القطع بانخفاض مقدار التغذية. أما عند استخدام سرعة قطع منخفضة خصوصاً عند تشغيل المعان اللدنة يتسبب عند تكون الحد المتراكب الذي يقوم بدور مؤثر في خدش السطح المشغل وتنتج خشونة سطح عالية. يبين الشكل (٨-٢) أثر سرعة القطع على خشونة السطح المشغل.



الشكل (٨-٢)

تأثير سرعة القطع على ارتفاع التوتوءات الميكروية في السطح المشغل.

١. فولاذ كربوني

٢. فولاذ سبائك

يظهر المنحني 1 حالة عامة في تشغيل الفولاذ الكربوني. في البداية تزداد الخشونة (في المدى  $V_1$  إلى  $V_2$  حيث  $V_1$  قريبة من الصفر). إن هذا عائد إلى بدء تشكل الحسد المتراكب حيث يصل إلى نهايته العظمى عند سرعة  $V_1$ . تبدأ مع السرعة  $V_1$  الظروف الملائمة لإتلاف الحد المتراكب بسبب الارتفاع في درجة الحرارة، إن ارتفاع الحد المتراكب ينقص وعند سرعة معينة  $V_3$  يختفي كله نهائياً، وهذا يؤدي إلى تخفيض في ارتفاع النتوءات. إذا زادت سرعة القطع أكثر من ذلك، من  $V_3$  إلى  $V_4$  مثلاً فإن خشونة السطح تنقص باستمرار بسبب نقصان الاحتكاك .

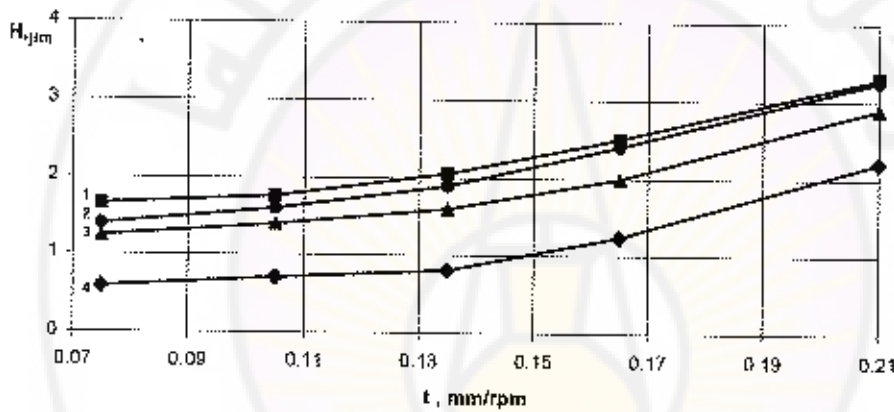
تبدأ مع سرعة القطع  $V_4$  التي تعتمد بشكل رئيسي على المعدن المقطوع استقرار عملية القطع وارتفاع النتوءات الميكروية يبقى فعلياً ثابتاً ( قريباً من القيمة النظرية ). تقريباً لا يوجد أية نتوءات على المنحني الناتج من تشغيل الفولاذ عالي السبائك والفولاذ والمعادن غير الحديدية والفولاذ المسبوك غير القصيف. إن المنحني ٢ خاص أكثر بهذه المعادن، وهو يظهر أن خشونة الأسطح المشغلة تنخفض أولاً بشدة مع الزيادة في سرعة القطع، وبعد ذلك تصبح فعلياً ثابتة وهذا عائد بشكل كامل إلى غياب تشكل الحد المتراكب. وكلما ارتفعت قساوة الصلب المشغل قبل ارتفاع النتوءات الميكروية ومع ازدياد سرعة القطع فإن تأثير القساوة ينخفض.

### ٨-٣-٢ - تأثير مقدار التغذية:

يمثل مقدار التغذية بالتناسب مع بقية متغيرات القطع أهم المؤثرات على خشونة السطح. وينحصر هذا التأثير في أنه كلما كان مقدار التغذية صغيراً انخفضت خشونة السطح. ويجب الانتباه إلى أنه للحصول على سطح جيد يجب ألا يقل مقدار التغذية

عن مقدار عمق القطع لأنه لو حدث ذلك فإن آثاراً من سطح التشغيل السابق يمكن أن تبقى حتى بعد تشغيل السطح التالي.

يبين الشكل ٨-٣ تأثير مقدار التغذية على ارتفاع النتوءات الميكروية. ويظهر أن مقدار التغذية في المجال  $0,12 - 0,15 \text{ mm/r.p.m}$  له أثر ضئيل على الارتفاع الحقيقي للنتوءات التي تزيد بشدة بالنسبة لزيادة أخرى في التغذية.



الشكل (٨-٣)

تأثير مقدار التغذية على خشونة السطح عند ظروف تبريد مختلفة

١. بدون سائل تبريد

٢. كيروسين نقي

٣. مستحلب

٤. كيروسين نشيط



### ٨-٣-٣- تأثير سوائيل التبريد:

استعمال سوائيل القطع يسهل تشكل الرايش ويقتل الاحتكاك والتشوه اللدن، لذلك يسهل الحصول على سطح مشغل أنعم (الشكل ٨-٣). عند ازدياد سرعة القطع فإن أثر استعمال سائيل القطع قد ينخفض (بالمقارنة إلى التشغيل الناشف) وبدءاً من سرعة معينة يصبح هذا الأثر غير محتر.

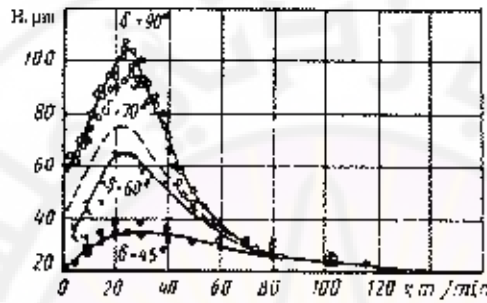
### ٨-٣-٤- تأثير عدة القطع:

زاوية الجرف لها بعض التأثير على السطح المشغل، وأظهرت الأبحاث أنه عند زيادة زاوية الجرف (بتقليل زاوية القطع) فإن ارتفاع النتوءات الميكروية يستخفض بعض الشيء. هذا الانخفاض يكون أشد مع زيادة مقدار التغذية وأكثر تدرجاً مع زيادة في سرعة القطع (بدأ من ٢٠ إلى ٣٠ وحتى ٦٠ إلى ٨٠ م/د الشكل ٨-٤). مع البدء بسرعة قطع، من ٦٠ م/د إلى ٨٠ م/د (في تشغيل الفولاذ الكربوني) لا يكون في الواقع أي أثر لزاوية الجرف على خشونة السطح.

كلما كبر الارتداد المرن (الارتداد إلى وضع سابق) للأسطح المشغلة عظم الفرق بين الارتفاع الفعلي والنظري للنتوءات. طالما أن الارتداد المرن يعتمد على نصف القطر  $R$  على يكون واضحاً بشكل خاص عندما تكون سماكة الرايش غير المقطوع صغيرة وعندها تقارب الواحد.

الارتفاعات للنتوءات المجهرية للحد القاطع تؤثر على الهندسة الدقيقة للسطح المشغل، النتوءات للحد القاطع تنطبع مباشرة على نتوءات السطح المشغّل مزيدين من ارتفاعهم. الخشونة الناتجة عن حدّ القطع يمكن السيطرة عليها في الخراطة المطولانية

بواسطة التغذية الخفيفة كذلك تماماً في المقطع العرضي من الخراطة عند قطع عالية . لهذا السبب فإن أسطح قلم مخروطة لخراطة الإنهاء يجب أن تكون مجلحة ومجلمة بالتحضين لتقليل النتوءات الميكروية للحد القاطع.



الشكل (٤-٨)

تأثير زاوية القطع على ارتفاع النتوءات الميكروية على السطح المشغل

مع وجود تآكل في القلم على الجانب حتى ٠.٥ مم أو ١ مم تحت الحد القاطع فإن أثر التآكل على الخشونة قليل جداً. أي تآكل أكثر يمكنه من ناحية ثانية أن يقود إلى زيادة معتبرة (واضحة) في خشونة الحد القاطع ونصف القطر  $R$  والقوى المؤثرة في عملية القطع ويمكنه أن يزيد في ارتفاع النتوءات المجهرية للسطح المشغل. لذا كانت المجموعة المؤلفة من الآلة - أداة التثبيت - القلم - المشغولة ثابتة بمقدار كاف. فإن العوامل نفسها يمكن أن تسبب الاهتزاز الذي هو بشكل جوهري يفسد الهندسة الدقيقة (المجهرية) للسطح المشغل.

### ٨-٣-٥- تأثير المشغولة:

يؤدي معدن المشغولة دوراً في نوعية السطوح، ويكفي لإمكانية الحصول على سطح جيد بالتشغيل بالقطع أن تكون نسب العناصر السبائكية الأساسية المكونة للخليطة صحيحة وموزعة بالتساوي في معدن المشغولة. وأن يكون المعدن عموماً سهل القطع. هناك بعض العناصر التي يمكن بإضافتها إلى المكونات الأساسية للخليطة أن تتحسن قابليتها للتشغيل مما يؤدي إلى إمكانية الحصول على سطوح أكثر جودة.

يوجد شرط هام آخر يتعلق بالمشغولة وهو تبيتها بشكل جيد قبل بدء التشغيل، لأن مراعاة ذلك يساعد في الحصول على سطوح جيدة، ويوفر الأمان للعدة والمشغولة والآلة والعامل.

### ٨-٣-٦- تأثير آلة التشغيل:

تعد الآلة من العناصر المباشرة المؤثرة على نوعية السطوح، ولذلك يجب التأكد من سلامة كل الأجزاء العاملة في آلة التشغيل، ويجب أن تحقق الآلة الشرطين التاليين:

١- عدم تذبذب الأجزاء المتحركة في الآلة من خلال ضبط الخلوص بين الأجزاء المتحركة في الآلة.

٢- انتظام حركة الآلة والعدة سواء كانت الحركة أثناء التشغيل للعدة وحدها أم لجزء من الآلة الحامل للمشغولة أم للآتين معاً.

#### ٨-٤- نوعية السطوح وكفاءة المشغولات:

تمثل أهمية جودة سطوح أجزاء الآلات المشغلة بصفة رئيسية في تأثيرها الكبير على ما يلي:

- ١- إجهاد التآكل وتبرز أهميته عند تقييم سطوح الأجزاء المتحركة والمتحركة.
- ٢- كفاءة استمرار الأزواج حيث يجب مراعاة أنه عند الاهتراء الخاد في أجزاء الآلة تتغير مقاساتها وتفاوتاتها الأساسية التي تكفل لها استمرار الأزواج.
- ٣- مقاومة التعب حيث تنشأ في قاع التتواءات على السطح تشققات لإجهاد التعب وتزداد مع الاستخدام بالتدرج للدرجة يمكن أن تؤدي إلى كسر الجزء. وكلما قل عمق الخشونة ساعد ذلك على ارتفاع مقاومة الجزء للتعب.
- ٤- مقاومة الصدأ حيث إن الأعماق الصغيرة للخشونة السطحية التي تتحقق بواسطة التشغيل الدقيق يكون لها أهمية كبيرة في الحد من حدوث التفاسعات الكهروكيميائية وزيادة مقاومة الصدأ.
- ٥- قوة التماسك وتكون أهميتها بالنسبة لتزييت الأجزاء المتحركة أو الدلائل في الآلات.

## الفصل التاسع

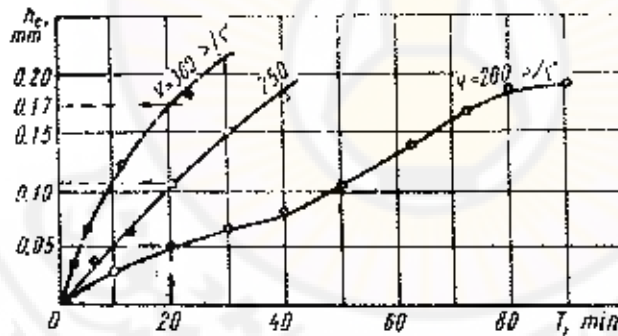
### سرعات القطع المسموح بها تبعاً لخصائص العدد

- ٩-١- اهتراء قلم القطع وزمن التشغيل الأساسي
- ٩-٢- أثر العوامل المختلفة على سرعة القطع المسموح بها للقلم
- ٩-٣- صيغ سرعة القطع
- ٩-٤- الشروط من أجل التشغيل بسرعة قطع عالية وتغذية كبيرة



## ٩-١ - اهتراء قلم القطع وزمن التشغيل الأساسي:

إن زيادة سرعة القطع تؤدي إلى انخفاض زمن التشغيل . من ناحية ثانية لا يمكن تحديد سرعة قطع بدون أن نأخذ بعين الاعتبار ظروف التشغيل الحقيقية طالما أن شدة اهتراء القلم تزداد بحدّة مع ازدياد سرعة القطع الشكل (٩-١). هذا يعني أن طول أمد حياة قلم القطع - الزمن الذي يشتغل فيه قلم القطع بين جلختين قد انخفض. إن هذا يؤدي إلى تكرار عمليات الجلفخ للقلم، وبالتالي إلى ضياعات وفقدانات بالنسبة لمخابر التشغيل والعاملين بها، وفي الزمن المحتاج إليه في ربط وفك القلم عن الآلة أو إلى ضياعات (في التشغيل) بالنسبة لقيمة معينة من معدن القلم التي تزال من أجل الحصول على عناصر قطع جديدة للقلم. وهكذا فإن تآكل القلم يؤثر على مقدسار الخرج (output) وعلى تكاليف عمليات التشغيل. كلما زادت سرعة القطع المسموح بها للقلم ل طول الحياة نفسها كانت خصائص قطعة أفضل وزادت إنتاجيته.



الشكل (٩-١)

العلاقة بين الاهتراء وزمن التشغيل (تشغيل فولاذ بلقمة كربيدية)

## ٢-٩-٢- أثر العوامل المختلفة على سرعة القطع المسموح بها للقلم:

العوامل التالية تؤثر في تحديد سرعة القطع المسموح بها في تشغيل قلم القطع أمد عمر قلم القطع والخصائص الفيزيائية الميكانيكية للمعدن المشغل، ومعدن الجزء القاطع مسن القلم، ومقدار التغذية وعمق القطع والشكل الهندسي للقلم وسائل القطع المستعمل ومقدار الحد الأقصى المسموح به لاهتراء القلم ونوع التشغيل المنجز (استقراب، إنهاء، نصف إنهاء).

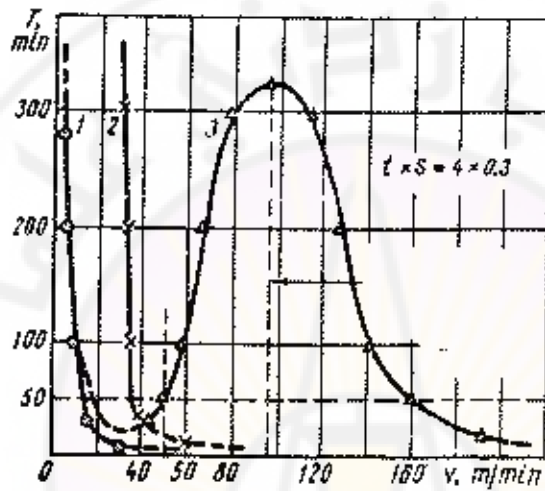
## ٢-٩-١- العلاقة بين سرعة القطع وأمد عمر قلم القطع:

ثبت عن طريق الخبرة العملية أن هناك علاقة محددة بين سرعة القطع وأمد عمر قلم القطع المصنوع من فولاذ عدد القطع. فكلما ارتفعت سرعة القطع قل أمد عمر قلم القطع (المنحنيات ١ و ٢ في الشكل (٢-٩)). فيما يتصل بالأقلام ذات اللقم الكربيدية فإن هذه العلاقة أكثر تعقيداً.

كلما قسا المعدن المشغل قلت السرعات المناظرة لعطف نقاط المنحني. هذه العلاقة تبين سرعات القطع وعمر القلم ذا اللقمة الكربيدية، ويمكن شرحها كالتالي: الاهتراء يكون بطيئاً عند القيم المنخفضة للسرعة بسبب أن درجة حرارة القطع منخفضة. عندما تزداد سرعة القطع  $v$  فإن درجة الحرارة ترتفع عند سطوح التلامس بين القلم والمشغولة وبين القلم والرايش، إن هذا يشجع التصاق (النقاط أو لحام) المعدن المشغل على نقاط التلامس، وبالتالي زيادة حدة الاهتراء وتقليل أمد عمر القلم. عندما تزداد  $v$  أكثر (بدءاً من . في الشكل (٢-٩) فإن درجة الحرارة تزداد ارتفاعاً حيث يؤدي إلى تليين (وحتى إلى انصهار ميكروي) للرايش وللأسطح المشغلة. وهذا يقلل الالتصاق ويشجع الانزلاق النسبي ولذلك تقل شدة الاهتراء.



العوامل الأخرى الملائمة هي الزيادة في مقاومة الصدم للكربيدات المسحقة ( وبخاصة في مدى درجات الحرارة من  $600^{\circ}$  إلى  $800^{\circ}$  م)، وفي تقليل القوى المؤثرة على القلم. عندما تستمر سرعة القطع في الزيادة مناظرة في درجة حرارة القطع، فإن الصلابة والمقاومة للكربيدات المسحقة تقل بشدة.



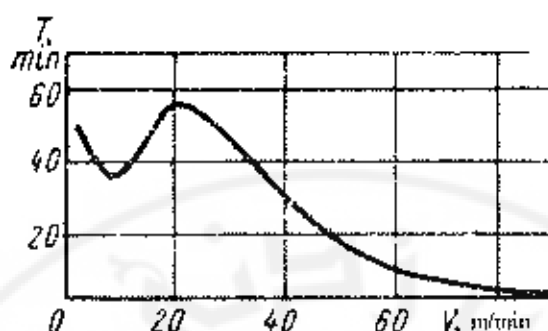
شكل (٩-٢)

العلاقة بين سرعة القطع وأمد عمر قلم القطع:

١. القلم من فولاذ العدة الكربوني

٢. القلم فولاذ سريع القطع

٣. القلم له لقمة كربيد إسمنتي



الشكل (٣-٩)

العلاقة بين عمر القلم وسرعة القطع لقلم له لقمة كربيدية

إن هذا ( مع استمرار الزيادة في مقدار الاحتكاك للوقت نفسه) يؤدي إلى زيادة مقدار الاهتراء وبالتالي تخفيض في أمد عمر القلم. لأجل العمر نفسه للقلم مثلاً 50 دقيقة

الشكل (٢-٩) فمن الأنسب العمل على سرعة

من العمل

بسرعة

لذلك فإن منطقة الاستفادة المنطقية للكراييد المستمته

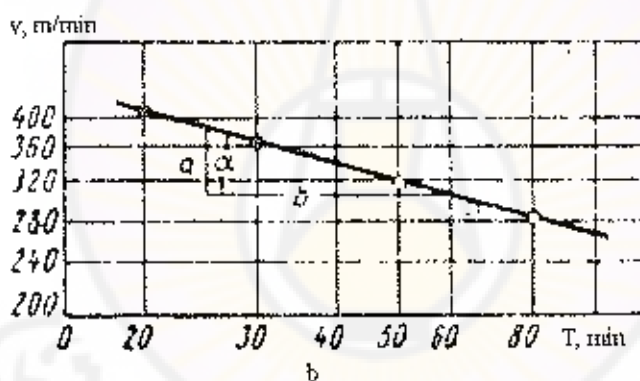
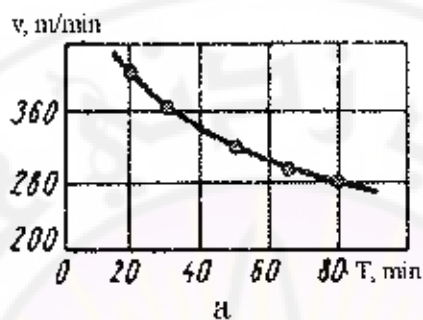
قد تحددت إلى اليمين من نقطة الانعطاف للقيمة العظمى لعمر القلم. لهذا السبب فإننا

سنأخذ في الاعتبار العلاقة بين قيم سرعات القطع والزمن على الطرف

المهابط من المنحنى في الشكل ٢-٩. على جدول بياني ذي خطوط مستقيمة فإن

العلاقة ستظهر على شكل منحنى الشكل (٩-٤-٤) في حين أنها ستظهر في شكل

بياني لوغاريتمي على شكل خط مستقيم الشكل (٩-٤-ب) يمكننا رياضياً كتابة العلاقة على الشكل التالي:



الشكل (٩-٤)

العلاقة بين سرعة القطع وأمد عمر القلم :

a- على مخطط عادي.

b- على مخطط لوغاريتمي (المادة المشغلة

مادة القلم

حيث  $T$  = عمر القلم بالدقيقة المناظرة لسرعة القطع المعطاة .  
 $M$  = أس العمر النسبي للقلم المميز لفاعلية عمر القلم على سرعة القطع المسموح بها.  
 $A$  = ثابت حيث تعتمد قيمته على متغيرات التشغيل، بأخذ لوغاريتم العلاقة الأولى  
نجد:

وهكذا ففي الإحداثيات اللوغاريتمية فإن هذه العلاقة بين سرعة القطع وعمق القلم  
تظهر في المعادلة بخط مستقيم، وظل زاوية الميل للمستقيم هو الأس للعمر النسبي للقلم  
ومنه ينتج أن :

إن أس العمر النسبي للقلم يميز درجة اختلاف سرعة القطع مع تغير أمد عمر القلم، إنه  
يعتمد على المعدن المشغل ومعدن القلم وسماكة الرايش قبل القطع وظروف التشغيل.

في أقلام القطع المستقيمة لخرائط النهايات والثقوب من فسولاذ السرعات العالية  
. في تشغيل الفولاذ والفولاذ المسبوك والحديد المطروق مع

استعمال سائل قطع من أجل الأقلام المفردة ذات اللقم الكريديّة فإن

( ) .

إذا كان عمر القلم  $T_1$  معلوماً لسرعة القطع  $v_1$  فإن العلاقة أعلاه يمكن استعمالها  
لايجاد العمر للقلم عند سرعة ( مع إبقاء كل المتغيرات الأخرى ثابتة ) أو  
سرعة القطع المناظرة لعمر القلم من المعادلة :

ينتج أن :

طالما أن الأس للعمر النسبي للقلم يختلف عند السرعات المنخفضة والمرتفعة فإن هذه المعادلة يمكن أن تعطي نتائج خاطئة عند إعادة الحساب لسرعات القطع مسن عمر منخفض للقلم إلى عمر مرتفع جداً (مثلاً عند )، في الحالة العامة فإن عمر القلم وسرعة القطع المناظرة له يجب أن يكونا مهيأين لإنهاء سطوح جيدة بقدر كاف ولتأمين إنتاجية عالية للورشة وتكاليف إنتاج قليلة. تبعاً لظروف التشغيل وتصميم قلم القطع وآلة القطع والمستوى الهندسي العام للإنتاج وللظروف الاقتصادية والتقنية للقلم وعمل آلة القطع، فإن عمر قلم القطع وسرعة القطع المناظرة له يمكن أن تختلف في التشغيل المفرد عنه في التشغيل المتعدد الأقلام. حيث أن تغيير الأقلام البلطة وما يتبعه من ضبط ومعايرة تتضمن فقدان الكثير من الوقت والعمل، ولذلك فإن عمر القلم يجب أن يكون أعلى منه لقلم مفرد، حيث العمليات أكثر سهولة. ينصح في أقلام القطع ذات اللقم الكريديية للخرطة أن يكون عمر القلم  $T = 60$  دقيقة إلى 90 دقيقة، إذا أخذت سرعة القطع المناظرة للعمر  $T = 60$  دقيقة على أساس أنها الوحدة، فمن أجل بقية القيم لعمر القلم نضرب سرعة القطع بمعاملات الإصلاح التالية:

|      |      |    |      |      |                       |
|------|------|----|------|------|-----------------------|
| 120  | 90   | 60 | 45   | 30   | عمر القلم $T$ - دقيقة |
| 0.87 | 0.92 | 1  | 1.06 | 1.15 | معامل الإصلاح $K_T$   |

### ٩-٢-٢- أثر المعدن المستعمل:

للخصائص الفيزيائية الميكانيكية للمعدن المشغل تأثير كبير على سرعة القطع المسموح بها لقلم القطع. إن الذي يحدد مقدار هذا التأثير بشكل رئيسي هو الحرارة المتولدة في القطع، وتوزع الحرارة بين الرايش والمشغولة وقلم القطع والجو المحيط. إن سرعة القطع تتأثر بالبنية الكيميائية للفولاذ ومعالجته الحرارية ونوع البنية الناتجة عن المعالجة الحرارية. وهكذا إذا نتج الكربون في بنية الفولاذ الكربوني فإن سرعة القطع المسموح بها ترتفع في حين أنها تمهد السبيل في الفولاذ السباتكي (كروم تنغستين ... الخ) إلى إنقاص السرعة. يمكن الحصول على أعلى سرعة قطع مسموح بها للفولاذ بعد التلدين عند درجة حرارة  $900C^0$   $t = 40$  بعد التلدين عند درجة حرارة  $900C^0$  إلى  $950C^0$  والفولاذ السرعات العالية بعد التلدين الايزوترمي (للتسخين إلى درجة حرارة  $870C^0$   $t = 4$  وتركه 4 ساعات في هذه الدرجة. ويتبع ذلك تبريد سريع إلى درجة 740 وتركها عند هذه الدرجة ساعتين). سرعة القطع القصوى المسموح بها للبنية الحبيبية للبرليت يمكن مراعاتها عندما يكون السمنتيت قد اتخذ شكل حبيبات كروية ناعمة منتظمة التوزيع في الحديد. من بين مختلف البنيات فإن أعلى سرعة قطع يسمح بها للحديد وبعد ذلك (في ترتيب انخفاض سرعات القطع المسموح بها) يأتي البرليت (المنقط ، الجليبي ، الرقائقي ، السوربايبي) ثم السوربيت والسوربيت تروستيتي (ذو تكوينات دقيقة).

من المعروف نتيجة الخبرة في الورش أن تشغيل الفولاذ ذي الحبيبات الدقيقة أسهل من تشغيل الأنواع الخشنة الحبيبات وذلك المضاف إليه كمية قليلة من بعض عناصر معينة (مثلاً حتى ٠.١% كبريت أو ٠.٢% أو ٠.٢٥% فوسفور) .

إن سرعة القطع التي يمكن أن يشغل بها معدن معطى لنا من أجل عمر محدد لقلم القطع هي المحدد الرئيسي لقابلية التشغيل للمعدن (قابلية التشغيل للمعادن تتحدد أيضاً بمحسونة الأسطح المشغلة وهذا ذو أهمية بشكل خاص في عمليات الإلهاء، كذلك تتحدد قابلية التشغيل للمعادن بمقدار القوى المؤثرة على القلم في عملية القطع). كلما ارتفعت سرعة القطع المسموح بها كانت قابلية التشغيل للمعدن المعطى أفضل بالمقارنة إلى معدن آخر عند أمد العمر نفسه للقلم وباقي الظروف متشابهة حيث لا يسمح إلا بسرعة قطع منخفضة. أقل قابلية تشغيل وجدت في أقلام الفولاذ السريع القطع كالتالي: كروم نيكول تنغستين، كروم منغنيز، كروم سيلكون، كروم سيلكون منغنيز، أو منغنيز سيلكون.

الفولاذ المقاوم للحرارة والفولاذ الممتاز لهما قابلية قليلة جداً للتشغيل السبب في ذلك هو احتوائهم على كمية لا بأس بها من العناصر السبائكية (تتضمن التيتانيوم والمنغنيز) التي تسعى للالتحام على (أن تلتصق به) قلم القطع. إلى جانب أن مقاومتهم لا تنخفض إلا قليلاً فيما إذا سخنوا إلى درجة حرارة  $800^{\circ}\text{C}$ ، فإن لهم مقاومة عالية للقص. (ضعف أو ثلاثة أضعاف مقاومة الفولاذ ذو البنية الكربونية) إن أقصى علو لمقاومتهم مرتبط بقساوة عالية. وهم مهينون لقبول تقسية شديدة وتوصليهم الحراري قليل.

نتيجة لهذه العوامل فإن المواد المقاومة للحرارة تتطلب قوة عالية. ودرجة حرارة قطعهم تكون أعلى من درجة حرارة قطع الفولاذ الإنشائي بمرتين أو ثلاث مرات، واهتراء

قلم القاطع يكون شديداً والأسطح الناتجة عن التشغيل تكون نسبياً خشنة. وبالتالي فإنهم يصنفون كمعادن ذات قابلية تشغيل قليلة.

الفولاذ السهل القاطع والسبائك غير الحديدية والخفيفة تشغل بسهولة على سرعات قطع عالية. يشغل الألومنيوم على سرعات قطع تعادل خمسة أو ستة أضعاف السرعات المستعملة في قطع الفولاذ الكربوني ( ) .  
إن سرعات قطع السبائك المصبوبة للألمنيوم والسيلومين تكون أعلى من سرعات قطع الفولاذ بأربع إلى خمس مرات.

بسبب ضالة التوصيل الحراري وزيادة الاحتكاك وتركيز ضغط الرأيش على منطقة صغيرة قرب الحد القاطع فإنه لا يسمح بتشغيل الحديد الصب على سرعة قطع عالية مثل الفولاذ الكربوني. باعتبار مقاومة الشد للفولاذ المشغل فإن سرعة القطع المسموح بها لقلم من أجل عمر محدد هو  $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \sqrt[n]{\frac{V_1}{V_2}}$  عندما يشغل الفولاذ ذو البنية الكربونية غير المقسى والفولاذ السبائكي بأقلام ذات لقلم كربيدية فإن  $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1$  وهكذا إذا كانت سرعة القطع  $V_1$  المسموح بها من أجل قلم عمره معطى ومعروف من أجل فولاذ بمقاومة للشد  $\sigma_1$  فإن السرعة  $V_2$  آخر بمقاومة شد  $\sigma_2$  يمكن حسابها مباشرة طالما أن:

$$V_1' \sigma_1^n = \sigma_2^n V_2'$$

من حيث :

$$\frac{V_1'}{V_2'} = \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right)^n$$



أو :

$$v_i^* = v_i \left( \frac{\sigma_{i_1}}{\sigma_{i_2}} \right)^x$$

في تشغيل الفولاذ ذي البنية الكربونية غير المقتس أو الفولاذ السباتكي بمقاومة شد  $\sigma_i = 75 \text{ kg/mm}^2$  واعتبار سرعة القطع المسموح بها للقلم على أساس أنها الوحسدة فإن معامل الإصلاح  $K_{mv}$  لسرعة القطع من أجل قيم لمقاومة الشد  $\sigma_i$  ستكون :

$$\frac{v_0}{\sigma_i} = K_{mv}$$

| $\sigma_i$ للفولاذ كغ/سم <sup>2</sup> | 50-40 | 60-50 | 70-60 | 80-70 | 90-80 | 100-90 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| معامل الإصلاح $K_{mv}$                | 79    | 88    | 1     | 1,15  | 1,36  | 1,66   |

والعلاقة السابقة يمكن كتابتها على الشكل:

$$K_{mv} \times v_{75} = v_{\sigma_i} \text{ م/د.}$$

تبعاً للقساة البرينية للحديد الصب فإن سرعة القطع المسموح بها للقلم في التشغيل من أجل عمر محدد للقلم هي:

$$v_p = \frac{C}{BH^y}$$

عند تشغيل الحديد الصب بأقلام ذات لقم كربيدية فإن  $y = 1,25$ ، إن سرعة القطع المسموح بها حيث خصائص القطع القلم تعتمد أيضاً على حالة المعدن المشغل وعلى

نموذج قطعة التشغيل المعدة للاستعمال وعلى حالة سطوحها. وهكذا إذا أخذت سرعة القطع الفولاذ المسحوب على الساخن على أساس أنها الوحدة فإن معاملاً مقداره (1,1) يجب إدخاله عند تشغيل الفولاذ المسحوب على البارد. هذا يعني أن سرعة القطع يجب أن تكون 10% أعلى. إن هذا العامل سيكون 95% للفولاذ المعادل و 0,9 للفولاذ اللدن و 0,8 للفولاذ الذي أخضع لتحسين في تركيب بنيته.

إذا أخذت سرعة القطع لقطعة فولاذ للتشغيل من خام مبروم أو مطرق بدون طبقة سطحية قاسية (بعد إزالة الطبقات المقساة في قطع أو بغطس لتنظيف سطح المعسدين) على أساس أنها الوحدة.

#### ٩-٢-٣- أثر معدن القلم:

يتحدد اهتراء القلم من أوجه كثيرة تبعاً للخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمعدن المصنوع منه الجزء القاطع من القلم. لذلك إذا أخذت سرعة القطع المسموح بها للفولاذ السريع القطع على أساس أنها الوحدة فإن معامل الإصلاح  $K_{mv}$  لسرعة القطع سيكون على أساس أقل من الواحد لفولاذ الأقلام السباتكي والفولاذ الكربوني وأكثر من الواحد لأقلام القطع الكريديية أو ذات اللقم السيراميكية، إن قيم المعامل  $K_{mv}$  معطاة فيما يلي لمختلف أنواع فولاذ الأقلام:

| نوع الفولاذ (فولاذ لسرعات) | p 18 | py | 9XC | y10A | y12A       |
|----------------------------|------|----|-----|------|------------|
| قيم المعامل $K_{mv}$       | 1    | 1  | 0,5 | 0,5  | أقل من 0,5 |

ذات اللقم السيراميكية تسمح لسرعة القطع في إهمال الإهراء ونصف الإهراء للصلب أن تزيد حوالي ١٠% إلى ٣٠% من السرعة المسموح بها لأقلام القطع ذات القلم

الكريديدة من وصفة T15K6 ، في إنهاء ونصف إنهاء حديد الصب فإن سرعة القطع المسموح بها للأقلام ذات القلم السيراميكية تكون ٥٠٪ أعلى من المسموح بها للكريد الأسمنتي الموصفة BK6 ، في عمليات معينة (خاصة) فإن هذه المعاملات يمكن أن تكون أعلى بكثير (حتى 3).

#### ٩-٢-٤- أثر مقدار التغذية وعمق القطع:

بما أن لمقدار التغذية ولعمق القطع تأثيراً على قوى القطع ودرجة حرارة القطع فإن لها أثراً هاماً على سرعة القطع المسموح بها بواسطة القلم. كلما كبر مقدار التغذية وعمق القطع عظمت القوى المؤثرة على القلم وارتفعت درجة حرارة القطع واشتد أكثر اهتراء القلم وقلت سرعة القطع المسموح بها لعمر للقلم نفسه. إن العلاقة بين سرعة القطع ومقدار التغذية وعمق القطع من أجل عمر للقلم مقداره (60) دقيقة توضع كالتالي:

$$v_{60} = \frac{C_{v_{60}}}{f^x v_s^{x_v}}$$

حيث  $C_{v_{60}}$  = معامل ثابت يعتمد على المعدن المشغل، ومعدن القلم وهندسة القلم وسائل القطع وباقي متغيرات التشغيل (في هذه الحالة فإن واحداً من هذه المتغيرات وهو عمر القلم مساوٍ لـ (60 دقيقة).

$f$  = عمق القطع مم.

$s$  = مقدار التغذية مم/لفة.

$y, x$  = أسس (قوى) وهي تختلف بمختلف المعادن المشغلة ومعادن الأقلام ومتغيرات التشغيل.

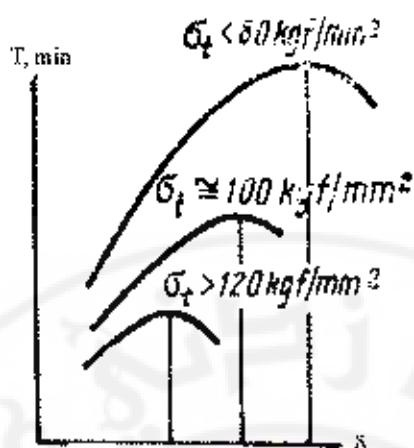
إذا أزيح الرايش غير المقطوع نفسه ذو مساحة المقطع نفسها بقلم أحادي عادي ( $\phi_1$  على  $t < s$ ) فإنه توجد سهولة أكثر في التشغيل بتغذية أخف وعمق قطع أكبر (التشغيل يكون أسهل بتخفيف التغذية وكبير عمق القطع) بقدر ما يهتم بآلة الإنتاج (باعتبار الطاقة المستهلكة) فإنه على العكس من الأسهل أن تعمل بتغذية كبيرة وعمق قطع ضئيل (قليل العمق) طالما أن الأخير (عمق القطع) يؤثر على قوة القطع أكثر مما تؤثر التغذية.

### ٩-٢-٥ - تأثير الشكل الهندسي للقلم:

كلما اتسعت زاوية القطع عظم التشوه وزادت الحرارة والقوى المؤثرة على القلم واشتد بالتالي الاهتراء على القلم وقصر عمره. عندما تقل زاوية القطع (بزيادة زاوية الجرف الموجبة) فإن التشوه وقوى القطع والحرارة المتولدة تقل ويزداد عمر القلم في البداية الشكل (٩-٥). لكن زاوية الشفة ( $\beta$ ) وحجم رأس القلم تقل مع زيادة مقدار الزاوية ( $+\gamma$ ) وتلك الوسيلة يقل انتقال الحرارة من الأسطح المحتكة للقلم، وتقل كذلك مقاومة الحد القاطع، وبالتالي بالبداية بقيمة معينة لزاوية القطع يزداد اهتراء القلم (تحول الحد القاطع إلى رايش) ويقل أمد حياة القلم. لذلك لا بد من وجود قيمة مثالية لزاوية القطع (زاوية الجرف) لكل من المعدن المشغل ومعدن القلم وباقى متغيرات التشغيل حيث عندها عمر القلم وبالتالي سرعة القطع المسموح بها (تطول عمر القلم نفسه) ستصلان إلى قيمتهما العظمى. في هذه الحالة كلما زادت مقاومة الشد أو القساوة البرينيلية  $HIB$  للمعدن المشغول قلت القيمة الموجبة لزاوية الجرف المثالية.

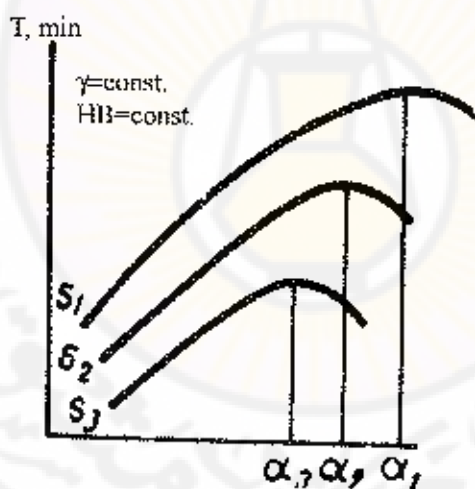
وكلما كبرت زاوية الخلوص للقلم قل احتكاك القلم على المشغولة، وكذلك اهتراء القلم وطال بذلك عمر القلم. من ناحية ثانية فإن عمر القلم يزداد حتى قيمة معينة لزاوية الخلوص  $\alpha$  طالما أن الزيادة في زاوية الخلوص يقلل باستمرار من زاوية الشفة  $\beta$ . هذا الإضعاف للقلم يبدأ عند قيمة معينة للزاوية  $\alpha$  حيث يبدأ الحد القاطع في التفتت ( وخاصة في حالة كون اللقمة من الكراييد الأسمنتية) ويقصر عمر القلم بشدة الشكل (٩-٦) إن هذا يقلل بطريقة مائلة سرعة القطع المسموح بها (لعمر القلم نفسه).

إن واحد من الأجزاء الهندسية للقلم التي تؤثر على سرعة القطع المسموح بها للقلم هي زاوية الاقتراب الأفقية، كلما كبرت هذه الزاوية زادت سماكة الرايش غير المقطوع (ل مقدار التغذية نفسه وعمق القطع). وقل الجزء الفعال من الحد القاطع وقل الحجم للفعال ( الذي يساهم بصورة فعالة في انتقال الحرارة) لقمة القلم، وبذلك يزيد الحمل الحراري على وحدة أطوال الحد القاطع، وزادت بذلك شدة الاهتراء وقل العمر للقلم. لهذا السبب فإن الأقلام التي لها زاوية جرف صغيرة (مع بقاء باقي العوامل ثابتة) تسمح بسرعة قطع عالية (الشكل ٩-٧).



شكل (٥-٩)

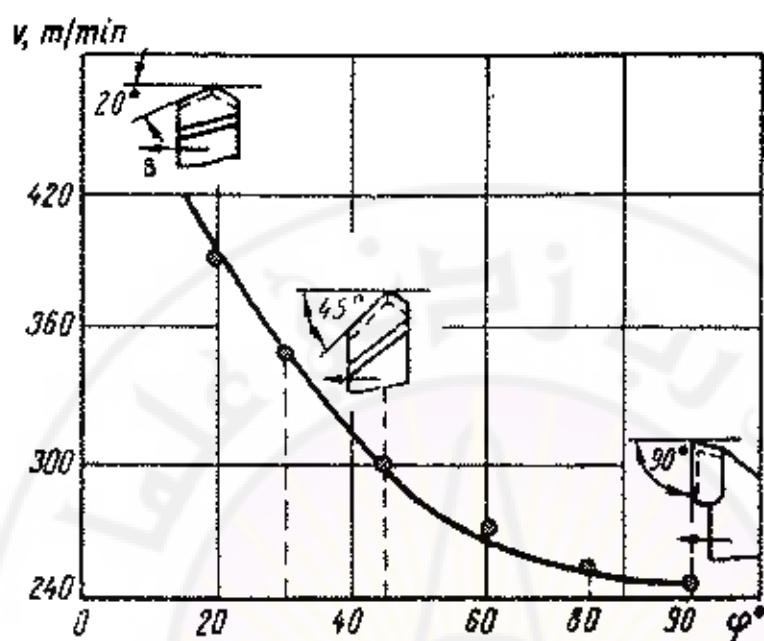
العلاقة بين عمر القلم وزاوية الجرف



شكل (٦-٩)

العلاقة بين عمر القلم وزاوية الخلوص عند مختلف النسب للتغذية

$$(s_1 < s_2 < s_3, \quad \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3)$$



شكل (٧-٩)

العلاقة بين سرعة القطع وزاوية القطع وزاوية الاقتراب الأفقية عند قيم ثابتة للتغذية وعمق القطع (المعدن المشغل St45، مادة القلم: كريد إسمني TISK6).

$$t \times s = 2 \times 0,3 \text{ mm}^2$$

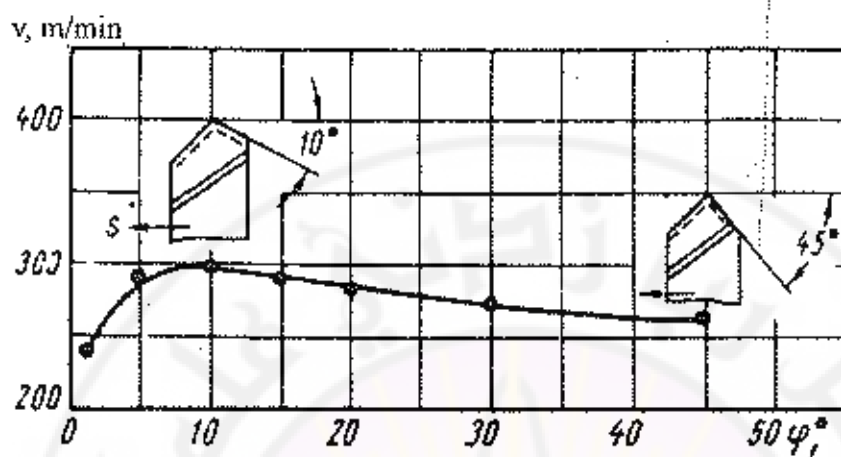
إذا أخذت سرعات القطع للأقلام ذات اللقم الكريديدية بزاوية اقتراب مقدارها  $45^\circ$  في عملية تشغيل الفولاذ على أساس أنها الواحدة فإن معاملات الإصلاح التالية  $K_{\phi}$  يمكن استعمالها لإيجاد سرعات القطع لزاويا الاقتراب الأخرى.

|      |      |      |    |      |     |      |                                       |
|------|------|------|----|------|-----|------|---------------------------------------|
| 90   | 75   | 60   | 45 | 30   | 20  | 10   | زاوية الاقتراب<br>الأفقية $\varphi^0$ |
| 0,81 | 0,86 | 0,92 | 1  | 1,13 | 1,3 | 1,55 | معامل الإصلاح<br>$K_{\varphi}$        |

زاوية الاقتراب الأفقية الثانوية تؤثر على اهتراء القلم وبالتالي على عمر القلم وعلى وجود زاوية صغيرة  $\varphi_1 > 5^\circ$ ، فإن الحد القاطع الخلفي يساهم إلى درجة كبيرة في القطع التكميلي. إن هذا يؤدي إلى تولد حرارة أكبر واهتراء القلم، ولذلك يقصر أمد عمر القلم. إذا زادت الزاوية  $\varphi_1$  فإن العمل للبندول بواسطة الحد القاطع الخلفي يقل مؤدياً بذلك إلى زيادة أمد عمر القلم وإلى سرعة القطع المسموح بها للقلم لعمر القلم نفسه (الشكل ٩-٨). من ناحية ثانية بالبدء بزاوية  $\varphi_1 = 5^\circ$  أو  $10^\circ$  فإن الانخفاض في حجم رأس القلم هو الأكثر وضوحاً، وتكون النتيجة انخفاضاً في انتقال الحرارة وارتفاعاً في درجة الحرارة مركراً على سطوح الاحتكاك للقلم، وبذلك تنخفض سرعة القطع المسموح بها للقلم. معاملات الإصلاح التالية  $K_{\varphi}$  لسرعات القطع لمختلص زوايا الاقتراب الحفية موضوعة على أساس أن سرعة القطع للزاوية  $\varphi_1 = 10^\circ$  هي الوحدة.

|      |      |      |      |    |                                     |
|------|------|------|------|----|-------------------------------------|
| 45   | 24   | 20   | 15   | 10 | زاوية الاقتراب الحفية $\varphi_1^*$ |
| 0,87 | 0,91 | 0,94 | 0,97 | 1  | معامل الإصلاح $K_{\varphi}$         |





شكل (٨-٩)

العلاقة بين سرعة القطع المسموح بها وزاوية  
الاقتراب المساعدة للحد القاطع المساعد.

رغم أن التشوه والقوى  $F_y$  و  $F_z$  تزداد مع نصف قطر أنف القلم فإن طول الجزء  
الفعال من الحد القاطع وحجم رأس القلم تزداد أيضاً. المعاملان الأخيران يسهلان  
انتقال الحرارة والنتيجة أنهما الصفة الغالبة. لذلك فإن عمر القلم الذي تسمح به سرعة  
القطع يزداد إلى مدى معين مع نصف قطر أنف القلم. هذا إذا أخذنا السرعة المسموح  
بها لقلم قطع من صلب السرعات العالية لنصف أنف  $r = 2mm$  على أساس أنها  
الوحدة. وإن معامل الإصلاح  $K_v$  لباقي قيم  $r$  = نصف قطر استدارة أنف القلم  
هي: 0,94 من أجل  $r = 1$  مم 1,03 من أجل  $r = 3$  مم و 1,13 من أجل  
 $r = 5$  مم.

إن إعطاء قيمة موجبة لزاوية ميل الخد القاطع الرئيسي ( $\lambda$ ) يقوي الخد القاطع بشكل فعال. ولهذا أهمية خاصة عند قطع الصدم (المتقطع القطع) في تشغيل سطح مسسوك وفي إزالة تسامح تشغيل غير نظامي.

وبالتالي عند التغير من قيمة سالبة للزاوية  $\lambda$  إلى قيمة موجبة (من  $-15^\circ$  إلى  $+40^\circ$ ) فإن عمر القلم يزداد، في المدى  $\lambda = 10^\circ$  يكون التغير في عمر القلم قليلاً ويمكن إهماله.

#### ٩-٢-٦- أثر المقطع العرضي لنصاب القلم:

إن السرعة المسموح بها لقلم تعتمد على المقطع العرضي للنصاب وكلمسا كسرت مساحة المقطع للنصاب زادت فعالية توصيل الحرارة من سطوح الاحتكاك للقلم وقل تركيز درجة الحرارة، كذلك فإن صلابة القلم تزداد، لذلك فإن القلم ذا المقطع الكبير يسمح بسرعة قطع أعلى. إذا أخذت سرعة القطع لقلم من فولاذ السرعات العالية مقطع نصابه  $30 \times 20$  مم<sup>2</sup> على أساس أنها الوحدة فإن معامل الإصلاح للسرعة سيكون  $K_p = 0,97$  لقلم تكون أبعاد نصابه  $25 \times 16$  مم وتكون  $1,04$  لقلم أبعاد نصابه  $40 \times 25$  مم في تشغيل الصلب. أثر مقطع نصاب القلم ذي اللقم الكريدينية قليل ويمكن إهماله.

#### ٩-٢-٧- أثر عوامل القطع:

بسبب أن سوائل القطع تسهل عملية تشكل الرايش وتقلل قيمة معامل الاحتكاك ودرجة حرارة القطع فإن هذه السوائل تؤثر على سرعة القطع المسموح بها للقلم. إن أفضل أثر للتبريد يحصل عليه من سوائل القطع المائية. يمكن لسرعة القطع أن ترفع

بعمليات التخشين بفولاذ السرعات العالية حوالي 20 إلى 30% عند استعمال سائل قطع بغزارة تصريف وافرة (8 إلى 12 لتر/دقيقة) من أعلى (على النقطة التي يغادر من عندها الرايش المشغولة ومن 8% إلى 10% لعمليات الإنهاء (رايش رقيق يصاحبه تولد حرارة أقل) وذلك بالمقارنة مع التشغيل بدون استعمال سوائل قطع (قطع على الناشف). في عمليات الإنهاء يكون الاستهلاك لسوائل القطع أقل منه في عمليات التخشين، ويكون في المدى من 4 إلى 6 لتر/دقيقة. يمكن أن تكون سرعة القطع في تشغيل الفولاذ حوالي 40 إلى 45% بالمقارنة مع التشغيل على الناشف إذا بردت سوائل التبريد إلى  $20^{\circ}\text{C}$  قبل استعمالها. يجب ملاحظة أن استخدام سائل القطع هو ذو أهمية خاصة للأقلام ذات اللقم الكريديّة في حالة الاستخدام المتقطع أو المتناوب لأنه تحدث تشققات في اللقم الكريديّة التي سخنت إلى درجة عالية من الحرارة ثم بردت فجأة. إن هذا يمكن أن يؤدي إلى إخفاق كامل للقلم.

#### ٩-٢-٨- أثر الاهتراء المسموح به للقلم:

إن الحد الأقصى المسموح به لاهتراء الجانب للظروف المعطاة له أثر أيضاً على سرعة المقطع، وكلما زاد مقدار الاهتراء المسموح به ارتفعت سرعة القطع التي يمكن تحديدها للقلم.

معاملات الإصلاح  $Kh_v$  المعطاة فيما يلي لسرعات القطع أساسها مقدار الاهتراء في الأقلام ذات اللقم الكريديّة عند تشغيل فولاذ غير مقسى.

|                          |           |           |
|--------------------------|-----------|-----------|
| اهتراء الجانب $h_r$ (مم) | 0,8 إلى 1 | 1,5 إلى 2 |
| معامل الإصلاح $Kh_v$     | 1         | 1,33      |

## ٩-٢-٩ - أثر نوعية التشغيل من المخروطة:

تبعاً لنوعية التشغيل المطلوبة من المخروطة ( خراطة - ثقب - تسوية سطح - فصل .... الخ ) فإن الظروف التي يخضع لها القلم في تشكيل الرايش يمكن أن تختلف. وهكذا فإن العدة في الثقب تعمل تحت ظروف أكثر صعوبة منها في الخراطة الطولية. بالإضافة إلى الحقيقة القائمة وهي أن أنف عدة الثقب يكون على مدى القطر الأعظمي، هذا يعني أنه يعمل على السرعة القصوى. وفي هذه الحالة يصعب تزويد سائل قطع حديد مما يضعف انتقال الحرارة. عامل آخر غير (مريح) ملائم هو أن عدد الثقب لها مقطع نصاب عرضي أقل وممتدين أكثر وأقل صلابة. هذا يؤدي إلى انحناء واهتزاز القلم، لهذا السبب فإنه تتم إزالة الرايش غير المقطوع بقطع أقل في عملية الثقب كما أن سرعة القطع تنخفض. كلما قل القطر للتجويف الذي يتقب زادت مساحة التلامس بين القلم والمشغولة وزاد اهتراء الجانب في خلال الفترة نفسها من الوقت وقلت سرعة القطع التي يسمح بها لقلم ثقب بالمقارنة مع قلم الخراطة الطولية. معامل التخفيض في الثقب هو  $K_{\theta} = 0,8$  من أجل قطر 75 مم ، 0,9 من أجل الأقطار من 150 - 75 مم ، 0,95 من أجل الأقطار 150 - 250 مم ، و 1 - للأقطار أكبر من 250 مم.

في خراطة النهايات (تسوية نهاية المشغولة) تكون الظروف ملائمة للقلم أكثر من الخراطة الطولية. طالما أن القلم يتعرض لفعل القيمة العظمى لسرعة القطع لفترة قصيرة فقط. وعندما تبدأ التغذية من السطح الخارجي باتجاه مركز المشغولة فقط، إن سرعة القطع تنخفض على مدى سير القلم وتصبح مساوية للصفر عند المركز.

تبعاً لذلك فبالمقارنة مع قلم للخراطة الطولية (الذي هو عرضة لسرعة قطع ثابتة عظمى حتى نهاية القطع على مدى الطول المحروط) . فإن قلم الخراطة الوجهية سيتآكل بشدة أقل، ويمكن أن يحدد له سرعة قطع أعلى. كلما عظم الفرق بين سرعات القطع الدنيا والعظمى، هذا يعني كلما صغرت النسبة  $\frac{D_0}{D}$  (حيث  $D$  هو القطر الاعظمي و  $D_0$  هو القطر الأصغري المشغل على وجه نهاية المشغولة). زادت ظروف التشغيل تلاؤماً وأمكن رفع سرعة القطع التي يمكن تحديدها. إذا أخذت سرعة القطع للأقلام ذات اللقم الكريدينية في الخراطة الطولية على أساس أنها الوحدة، فإن سرعة القطع في خراطة النهايات (وجه المشغولة) يمكن أن يعبر عنها بالمعاملات  $K_r$  التالية:

| $\frac{D_0}{D}$ في خراطة النهايات (الوجه) | صفر حتى 0,4 | 0,5 إلى 0,7 | 0,8 إلى 1 |
|-------------------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| معامل الإصلاح $K_r$                       | 1,25        | 1,2         | 1,05      |

أقلام الفصل وفتح المجاري تعمل تحت ظروف صعبة طالما أن الرايش يتم تحت ظروف أقل ملائمة. كلما قلت زوايا الخلوص الجانبية وصغر المقطع العرضي لرأس أقلام الفصل تسبب ذلك في قلة انتقال الحرارة. إن درجة الحرارة تكون مرتفعة بشكل خاص عند أركان الحدود القاطعة التي تتعرض إلى اهتراء شديد، لهذا السبب فإن من الضروري وبشكل رئيسي تخفيض سرعة القطع المسموح بها للفصل في الفصل بالمقارنة مع الخراطة الطولية . تزود أقلام القطع للفصل بحدود قاطعة متوسطة لتقوية الأركان.

إذا أخذت سرعة القطع لأقلام القطع للفصل المزودة بلقم كريدينية على أساس أنها الوحدة فإن سرعة القطع عند قطع بحري بقطر  $D_0$  يمكن أن يعبر عنها بمعاملات الإصلاح  $K_r$  التالية:

|                              |             |              |
|------------------------------|-------------|--------------|
| $\frac{D_0}{D}$ في قطع الجري | 0,5 إلى 0,7 | 0,8 إلى 0,95 |
| معامل الإصلاح $K_{pr}$       | 0,96        | 0,84         |

إن الظروف النوعية السائدة في عمليات القطع للفصل تجعل استعمال سائل القطع مرغوباً فيه بشدة إضافة إلى زيادة أمد عمر القلم، وتسهيل تخليص الرايش من الجري فإن استعمال سائل قطع يقلل أيضاً قوى القطع (هذا ذو أهمية مسن الدرجة الأولى لأقلام القطع للفصل التي تكون لا قوية ولا صلبة ثابتة).

إن استعمال قطع في قطع الفولاذ للفصل بأقلام ذات رؤوس كربيدية يمكن سرعة القطع من الازدياد حتى 40%.

### ٩-٣- صيغ سرعة القطع:

إن سرعة القطع المسموح بها لقلم في الخراطة الطولية يمكن حسابها من المعادلة :

$$v_f = \frac{C_v K_v}{T^{m_f} S^{x_v}}$$

حيث  $C_v$  : معامل يميز المعدن المشغل وظروف التشغيل.

$T$  : عمر القلم بالدقيقة ،  $m$  أس للعمر النسبي للقلم.

$t$  : عمق القطع [مم] ،  $S$  : مقدار التغذية [مم/لفة] ،  $x_v, y_v$  أسس.

$K_v$ : معامل الإصلاح العام لكي نأخذ في اعتبارنا ظروف التشغيل أكثر من تلك التي تعطىها الفئة المعطاة  $C_v$  (  $K_v$  يساوي ناتج ضرب معاملات الإصلاح ).

الجدول ٩-١ يعطي المعاملات والأسس في معادلات سرعة القطع (حرارة طولية بأقلام قطع ذات لقم كريدية وصفة T5K10).

| المعدن المشغل              | تغذية الحرارة الطولية<br>مم/لفة | $C_v$ | $X_v$ | $Y_v$ | $m$ |
|----------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-----|
| فولاذ إنشائي كربوني        | $0.3 \geq S$                    | 273   | 0.15  | 0.2   | 0.2 |
| فولاذ سبائكي               | $0.75 \geq S$                   | 273   | 0.15  | 0.35  | 0.2 |
| المقاومة $\sigma, kg/mm^2$ | $0.75 > S$                      | 273   | 0.15  | 0.45  | 0.2 |

القيم لـ  $m, Y_v, X_v, C_v$  وردت في الجدول لظروف تشغيل معينة باستعمال أقلام كريدية وصفة T5K10.

#### ٩-٤- الشروط من أجل التشغيل بسرعة قطع عالية وتغذية كبيرة:

يمكن تخفيض زمن التشغيل بزيادة مقدار التغذية أو سرعة الدوران ( سرعة القطع ). مثل هذا التخفيض في وقت التشغيل المبني على زيادة جوهرية في التغذية يسمى التغذية الثقيلة (أو القدرة العالية) للقطع. وإذا كان مبنياً على السرعات العالية فإنه يسمى القطع بالسرعة العالية. إذا أخذنا عمر القلم في عين الاعتبار (هذا يعني وقست العمل للقلم حتى مقدار الاهتراء المحدد) فإن من الأفضل زيادة مقدار التغذية طالما أن مقدار

التغذية) له تأثيراً أقل على تولد الحرارة، وبالتالي على تآكل القلم القاطع من زيادة سرعة القطع.

لكنه لا يمكن زيادة التغذية إلا إلى حدود معينة طالما أن:

١ - القوة المؤثرة على مجموعة الآلة - المثبت القلم - المشغولة - تزداد أيضاً مؤدية إلى زيادة الحمل الحراري على وحدة الأطوال من الحد القاطع للقلم (إذا لم يكن الحد القاطع قوياً بكفاية فإن زيادة قوى القطع يمكن أن تؤدي إلى فشل القلم وإلى كسر قبل الأوان للقلم). القوى الزائدة يمكن أن تؤدي إلى تشوه السطوح المشغلة، مؤدية إلى أخطاء من نوع عدم الاستدارة والتقوس.... الخ... ويمكن أن تعزز الاهتراء السريع لجميع أجزاء سلسلة التشغيل.

٢ - يمكن أن يفسد الإنهاء (الشكل الهندسي الميكروي) للسطح المشغل، لذلك فعند البدء بمقدار معين للتغذية فربما السطح المشغل لا يطول أمثاله للظسروف الموضوعية (النوعية) "إذا لم يكن مقدار التغذية مناسباً"

٣ - درجة وعمق تقسية التشغيل يزدادان، وهذا أمر غير مرغوب فيه في بعض الأحوال.

لهذه الأسباب فإن من الأنسب تقليل زمن التشغيل (أكثر مما يتم عن طريق استعمال أقصى مقدار تغذية يمكن الوصول إليه يسمح به) وذلك بزيادة سرعة الدوران (سرعة القطع).



على النقيض من الزيادة في التغذية فإن الزيادة في سرعة القطع (بدءاً من 50 م/د على التقريب) تؤدي إلى تقليل في قوى القطع، وإلى تحسين الإنهاء للسطح المشغل (الشكل الهندسي الميكروي)، وإلى تقسية تشغيل أقل.

لكن سرعات القطع العالية تطيل مسار الاحتكاك (مزيدة الاهتراء) للفترة نفسها من الوقت، وتزيد بشدة تولد الحرارة وارتفاع درجة الحرارة التي تصل إليها سسطوح التلامس بين القلم والمشغولة وبين القلم والرايش. إن هذا يقلل قساوة معدن القلم، ولذلك يزداد اهتراء القلم في الفترة نفسها من التشغيل (هذا يعني أن عمر القلم يقصر). ونتيجة لذلك فإن الأقلام التي تستعمل لسرعات القطع العالية يجب أن تزود بحدود قاطعة مصنوعة من مواد جيدة التحمل للحرارة، ومقاومة للتآكل كالكربيدات الأسمنتية والأكاسيد السمنتية "الخرف" مثلاً.

من جهة أخرى فإن قلم القطع يجب أن يكون له حد قاطع قوي بشكل كاف ليقاوم قوى القطع العالية. رغم أن معادن القطع الكربيدية والخزفية لها قساوة ومقاومة حرارة عالية، أما قصيفة جداً ولا يمكنها تحمل أحمال الصدم والانحناء والقص. تقوى الحدود القاطعة لمثل هذه الأقلام عادة بتزويدها بزاوية حفر سائلة.

هذه المزايا للقطع بالسرعات العالية دعت لاستعمالها بكثرة ليس فقط في عمليات الخراطة، ولكن أيضاً في التفريز والتقيب وتوسيع الثقوب والسحل وقطع اللوالب وغير ذلك من أنواع عمليات التشغيل. وزاد استخدامها أكثر وأكثر في المخارط المتعددة الأقلام والأوتوماتيكية ونصف الأوتوماتيكية ليس فقط أجزاء متناثرة أو متفرقة هي التي تعمل بالقطع بالسرعات العالية بل ورش بأكملها.



## المصادر العلمية

١- أ.د. غسان حداد، طرائق التصنيع ١ (تشغيل المعادن). منشورات جامعة دمشق ٢٠٠٨.

٢- أ.د. خليل عزيمة، أ.د. فؤاد ضحية، علم المواد وهندستها، منشورات جامعة دمشق الطبعة الثانية ٢٠٠٨.

٣- أ.د. عبد العزيز عرار، نظرية قطع المعادن وتصميم أدوات القطع. منشورات جامعة دمشق ١٩٨٢ (ترجمة).

٤- د. إبراهيم الرشيد، د. محمد عناني، أساسيات قطع المعادن. دار الجيل للطباعة ١٩٧٥.

5- Dr. W.R.Tyfour, Metals Cutting. Matah University – 2006.

6- T.Childs , K.Mackawa , T.Obikawa , Y.Yamane. Metals Machining: Theory And Applications. London – 2000.

7- Cutting Tool and Machine Tool Accessory Manufacturing. USA 1999.

8- M. Villumsen, T. Fauerholdt, Simulation of Metal Cutting using Smooth Particle Hydrodynamics. Bamberg 2008.

9- Trent E.M, Wright P.K, Metal Cutting, 4<sup>th</sup> edition, 2000.

10- Yig it Karpatl, Tag rul O zel Mechanics of high speed cutting with curvilinear edge tools. International Journal of Machine Tools & Manufacture 48 (2008).

11- Astakhov, V.P., Osman, M.O.M, and Hayajneh, M.T., Re-evaluation of the basic mechanics of orthogonal metal cutting: velocity diagram, virtual work equation and upper bound theorem, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 41, 2001.

12- Manufacturing Tooling Cutting Tool Design Nageswara Rao Posinasetti 2008.

13- Подгорков В.В. Блинов В.Б., Капустин А.С., Механическая обработка материалов и оборудование машино-строительного производства: Учебн. пособие: Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002.

- 14- Э.Г. Бабенко. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ. Хабаровск. 1997.
- 15- П. И. Яцерицып, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. — Мп. 1990.-512 с.
- 16- Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. Резание металлов. —М. 1985.-304 с.
- 17- В. С. Самойлов, Э. Ф. Эйхманс, В. А. Фальковский и др. Металлообрабатывающий инструмент. Справочник. —М. 1988
- 18- Общемашиностроительные нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы. —М. 1986
- 19- А. Г. Косилова, Р.К. Мендереков. Справочник технолога-машиностроителя. —М. 1986.-Т 2

## جدول المصطلحات العلمية

### A

|                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| Abrasive materials        | المواد الحامكة                |
| Abrasive stick            | حاك ظفري                      |
| Abrasive wear             | تآكل الحواف                   |
| Action of cutting forces  | أثر قوى القطع                 |
| Addendum hob              | مقطع لولبي محدد لرأس السن     |
| Adhesive wear             | اهتراء التصاق                 |
| Adsorption                | تكشف والتصاق                  |
| Alloy tools steels        | فولاذ عدة سبائك               |
| Alternate cutting         | قطع متغير                     |
| Angle, shear              | زاوية القص                    |
| Angular feed              | التغذية المائلة (على الزاوية) |
| Approach                  | اقتراب                        |
| Aqueous emulsion          | مستحلب مائي                   |
| Auxiliary cutting edge    | الحد القاطع الثانوي           |
| Auxiliary reference plane | مستوي الإسناد الثانوي         |
| Axial cutting force       | قوة القطع المحوري             |
| Axial relieving           | الخلوص المحوري                |
| Axial thrust force        | قوة الضغط المحورية            |
| Abrasive tool             | عدة قطع حاككة                 |
| Angle of inclination      | زاوية ميل الحد القاطع         |

## B

|                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| Back-off angle        | زاوية الخلوص                     |
| Bit, boring           | نصلة المثقاب، لقمة تجويف         |
| Blade, carbide-tipped | أنصال كربيدية اللقم              |
| Boring tool           | عدة تجويف                        |
| Boron carbide         | كربيد البورون                    |
| Built-up edge(BUE)    | الحد المتراكب                    |
| Built-up gear hob     | مقطع لولبي محدد متراكب للمستندات |

## C

|                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Carbon tool steels          | فولاذ كربوني للعدد              |
| Cemented carbide tip        | لقمة من الكربيد الإسمنتي        |
| Centre of pressure          | مركز الضغط                      |
| Ceramic tools               | عدد خزفية                       |
| Cermet tool                 | عدة من سبيكة معدنية خزفية       |
| Chip cross-sectional area   | مساحة المقطع العرضي للرايش      |
| Chip curling                | تجعد الرايش                     |
| Chip disposal               | إزاحة الرايش (التخلص من الرايش) |
| Chip formation              | تشكل الرايش                     |
| Chip formation in broaching | تشكل الرايش في عملية التخليق    |
| Chip formation in drilling  | تشكل الرايش في عملية الثقب      |
| Chip forming process        | عملية تشكل الرايش               |
| Chip removal, rat of        | مقدار إزالة الرايش              |

|                                 |                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Chip types                      | أنواع الرايش                      |
| Chips with inhomogeneous strain | الرايش الناتج عن إجهاد غير متجانس |
| Chip breaker                    | مكسر الرايش                       |
| Chip rupter                     | مكسر الرايش                       |
| Chisel edge angle               | زاوية الحد الأزميلي               |
| Coefficient of contraction      | معامل الانكماش                    |
| Contraction, chip               | انكماش الرايش                     |
| Correction factor               | معامل التصحيح                     |
| Cross feed                      | التغذية العرضية                   |
| Curling, chip                   | تجعد الرايش                       |
| Curved-tooth bevel gear         | مسنن مخروطي منحنى الأسنان         |
| Cutter geometry                 | الشكل الهندسي للمقطع              |
| Cutter life                     | أمد عمر المقطع                    |
| Cutter speed                    | سرعة المقطع                       |
| Cutting angle                   | زاوية المقطع                      |
| Cutting edge                    | الحد القاطع                       |
| Cutting element                 | عنصر المقطع                       |
| Cutting ratio                   | معامل الانكماش                    |
| Cutting speed                   | سرعة المقطع                       |
| Cutting temperature             | درجة حرارة المقطع                 |
| Cutting variables               | متغيرات المقطع                    |
| Cutting angle                   | زاوية المقطع                      |

Continuous chip      الرايش المتواصل

## D

Depth of cut      عمق القطع

Distribution heat      الحرارة المتولدة

## E

Effective power      القدرة الفعالة

Elastic restitution      الارتداد المرن (نتيجة المرونة)

End cutting edge      الحد القاطع الثانوي

End cutting edge angle      زاوية الحد القاطع الثانوي

End-cutting turning tool      عدة خراطة طرفية (جانبية)

End mill      مقطع تفريغ طرفي

End-mill type gear milling cutter      مقطع تفريغ طرفي للمسننات

End-rake angle      زاوية الجرف الطرفية (الثانوية)

End-relief angle      زاوية الخلوص الطرفية (الثانوية)

Entering angle      زاوية (الدخول أو البدء) الاقتراب

Extension coefficient      معامل التمدد

Emulsion      مستحلب

Elastic deformation      تشوه مرن

## F

Face angle      زاوية الوجه

Face cutting-edge angle      زاوية الحد الوجهي القاطع

Face-mill type cutter      مقطع تفريغ وجهي

Face milling cutter      مقطع تفريغ وجهي



|                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Face relief angle                  | زاوية الخلوصل الوجهية            |
| Feed force                         | قوة التغذية                      |
| Feed motion                        | حركة التغذية                     |
| Flank wear                         | اهتراء الجانب                    |
| Force, cutting                     | قوة القطع                        |
| Fractured chips                    | الرايش المتفتت                   |
| <b>G</b>                           |                                  |
| Gap                                | ثغرة، فجوة                       |
| Groove                             | تلم، قُرض، حز                    |
| <b>H</b>                           |                                  |
| High-speed steels                  | الفولاذ السريع القطع             |
| Hook angle                         | زاوية حرف                        |
| Hook face                          | وجه الحرف                        |
| Helical-flute cutter               | مقطع تفريز مجاري ملتوية          |
| Helical-flute plain milling cutter | مقطع مجاري ملتوية لتفريز المستوي |
| Half-side and side milling cutters | مقطعات تفريز جانبي ونصف جانبي    |
| <b>I</b>                           |                                  |
| Impact strength                    | مقاومة الصدم                     |
| Interrupted cutting                | قطع متقطع (غير مستمر)            |
| Inhomogeneous chip                 | الرايش المتدرج                   |
| Irregularities                     | تنوعات                           |
| <b>K</b>                           |                                  |
| Kinematic chip breaking            | التكسير الحركي للرايش            |
| <b>L</b>                           |                                  |

|                                         |                                     |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| Land width                              | عرض المنطقة خلف الحد القاطع         |
| Lath tool geometry                      | الشكل الهندسي للعدة القاطعة للخراطة |
| Leading crack                           | شق، صدع                             |
| Lip                                     | شفة، حافة، طرف، حد قاطع             |
| Lip angle                               | زاوية الشفة                         |
| Lip relief surface                      | سطح التخلص للشفة                    |
| Longitudinal feed                       | تغذية طولية                         |
| Lubricating                             | تزييق، تزييت                        |
| <b>M</b>                                |                                     |
| Machinability                           | قابلية التشغيل                      |
| Machine-fixture-tool-work piece complex | سلسلة - العدة القاطعة - المشغولة    |
| Machining allowance                     | سماح التشغيل                        |
| Machining time                          | زمن التشغيل                         |
| Main cutting edge                       | الحد القاطع الرئيسي                 |
| Main relief angle                       | زاوية التخلص الرئيسية               |
| Main tool angles                        | الزوايا الرئيسية للعدة القاطعة      |
| Microfissures                           | تشققات ميكروية                      |
| Micro irregularities                    | نوعيات ميكروية                      |
| Milling process                         | عملية التفريز                       |
| <b>N</b>                                |                                     |
| Normal rake angle                       | زاوية الجرف في مستوي عمودي          |
| Nose angle                              | زاوية الأنف                         |

|             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| Nose radius | استدارة الأنف (نصف قطر الأنف) |
| Nose angle  | زاوية الرأس                   |
| Nicked      | محز، محدد                     |

## P

|                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| Permissible cutting speed   | سرعة القطع المسموح بها    |
| Plan of the cut             | مستوي القطع               |
| Plastic strain              | إجهاد لدن (إجهاد اللدونة) |
| Plastic-elastic deformation | التشوه المرن-اللدن        |
| Point angle                 | زاوية النقطة              |
| Power                       | طاقة                      |
| Pressure angle              | زاوية الضغط               |
| Pressure, center of         | مركز الضغط                |
| Primary cutting motion      | حركة القطع الأساسية       |
| Plastic deformation         | تشوه اللدن                |
| Properties                  | خواص - ميزات خاصة - خصائص |

## Q

|                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| Quality of machined surfaces | نوعية السطوح المشغلة |
|------------------------------|----------------------|

## R

|                                |                                            |
|--------------------------------|--------------------------------------------|
| Radial cutting force           | قوة القطع القطرية                          |
| Radial if feed in gear hobbing | التغذية القطرية في قطع المستندات الحلزونية |
| Radial rake angle              | زاوية الجرف القطرية                        |
| Radial relieving               | إخلوص القطري                               |
| Rake angle                     | زاوية الجرف                                |

|                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| Rate of feed      | مقدار التغذية         |
| Rate of traverse  | مقدار التغذية العرضية |
| Relief angle      | زاوية الخلوص          |
| Relief chamfer    | شطقة الخلوص           |
| Relief value      | مقدار الخلوص          |
| Roughness surface | خشونة السطح           |

### S

|                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| Shank tool         | نصاب العدة                   |
| Shear plane        | مستوى القص                   |
| Shear surface      | سطح القص                     |
| Side rake angle    | زاوية الجرف الجانبية         |
| Side relief angle  | زاوية الخلوص الجانبية        |
| Silicon carbide    | كربيد السيلكون               |
| Silumin            | سيلومين (من سبائك الألمنيوم) |
| Single-point tool  | عدة مفردة                    |
| Slip plane         | مستوى الانزلاق               |
| Slope angle        | زاوية ميل الحد القاطع        |
| Stagnate zone      | منطقة ركود                   |
| Structural steel   | فولاذ إنشائي                 |
| Surface of the cut | سطح القطع                    |
| Surface quality    | جودة السطح                   |
| Synthetic diamonds | الماس صناعي                  |

Spiral

حلزوني-لولبي

Slotter tool

عدة التشقيب

## T

Table traverse

الحركة العرضية للسطح

Tool angles

زوايا العدة

Tool point

رأس العدة (قمة العدة)

Tool wear

اهتراء العدة

Turning tools

عدد الخراطة

Traverse chip contraction

الانكماش المستعرض للرايش

Toughness

صلابة-متانة

Tool nose radius

نصف قطر أنف القلم

Thread milling cutter

مقطع تغريز لولبي

## V

Vibration

اهتزاز

Vibration damper

مخمّد الاهتزاز

Volume of chips

حجم الرايش

## W

Wear crater

حفرة-اهتراء

Wear resistance

مقاومة الاهتراء

Work done in cutting

العمل المبذول في عملية القطع

Work hardening

تقسية بالتشغيل

Work surface

السطح المشغل

|                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| Work traverse        | التغذية المستعرضة للمشغولة |
| Working-rake angle   | زاوية الجرف التشغيلية      |
| Working-relief angle | زاوية خلوص التشغيل         |
| Working motion       | حركة التشغيل               |
|                      | <b>Z</b>                   |
| Zone                 | منطقة - قطاع               |

#### اللجنة العلمية:

١. الأستاذ الدكتور محمد غانم
٢. الأستاذ الدكتور غسان حداد
٣. الأستاذ الدكتور خليل عزيمة

#### المدقق اللغوي:

الدكتورة هدى الصحنلاوي

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات  
جامعة دمشق