

## МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЕ СТАЛЬНОЙ СТРУЖКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

*Хачатурян А.М.*

*Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерала-адмирала  
Ф.М. Апраксина – филиал Волжского государственного университета водного  
транспорта, г. Астрахань*

**Ключевые слова:** твердость, стружка, сверло, фреза, токарный резец, сталь, химический анализ, твердый сплав, режимы резания.

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности методов механической обработки, с целью получения стружки, из образцов или деталей подвергнутых термической обработки (валы и пальцы большого диаметра, крупногабаритные детали буровых установок и т.п.), а также стальной проволоки (стальные канаты, проволока электродов для сварки и т.п.), с целью определения их химического состава. Обосновываются в зависимости от вида образцов: схемы механической обработки (фрезерование, точение, сверление); выбор типа и материала режущей части инструментов; режимы резания.

## METHODS FOR PRODUCING STEEL SHARPS FOR DETERMINING ITS CHEMICAL COMPOSITION

*Khachaturyan A.M.*

*Caspian Institute of Sea and River Transport the affiliation of Volga State University of  
Water Transport, Astrakhan*

**Keywords:** hardness, shavings, drill, cutter, turning tool, steel, chemical analysis, carbide, cutting conditions.

**Abstract.** The article discusses the features of the methods of mechanical processing, in order to obtain chips from samples or parts subjected to heat treatment (shafts and fingers of large diameter, large-sized parts of drilling rigs, etc.), as well as steel wire (steel ropes, wire electrodes for welding, etc.), in order to determine their chemical composition. Depending on the type of samples, the following are justified: mechanical processing schemes (milling, turning, drilling); selection of the type and material of the cutting part of the tools; cutting modes.

В производстве часто необходимо определять химический состав деталей (углерод, кремний, марганец, фосфор, сера, хром, никель, вольфрам, ванадий и т.д.) из стали. Это связано с поставками новых партий металла, сертификацией квалификации работников. Также в связи с эксплуатацией зарубежного оборудования возникает вопрос замены вышедшей из строя детали из близких марок сталей отечественного производства.

Получение из стальных деталей стружки для химического анализа, имеющих твердость меньше HB350 или больше, но с возможностью отжига, не представляет больших трудностей. Предложенная статья является обзорной, в которой рассматриваются разработанные автором методики отбора пробы в виде стружки, для определения ее химического состава из термически обработанных деталей (HRC=45÷70), не допускающие отжига по требованию заказчика или не помещающиеся в муфельную печь по габаритным размерам (валы и пальцы

большого диаметра и длины, плиты, крупногабаритные детали буровых установок, кольца подшипников качения, детали ДВС и т.д.), а также проволоки (стальные канаты, гибкие валы, проволока для сварки и т.д.). Пробу для химического анализа таких образцов получают механической обработкой, при этом особое внимание уделяется качеству получаемой стружки, к которой предъявляются следующие требования (ГОСТ 7565-81) [2]: при получении стружки использование смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) разрешается в исключительных случаях; появление цветов побежалости стружки должно быть сведено к минимуму; размер стружки должен быть таким, чтобы масса отдельного элемента составляла от 2,5 до 25 мг; в зависимости от количества определяемых химических элементов, масса отобранной стружки должна быть  $5 \div 10$  г.

Данные требования накладывают дополнительные условия к выбору схемы обработки, материала режущего инструмента и режимов резания. В связи с тем, что зачастую химический состав стали неизвестен, а применение СОЖ недопустимо, то процесс механической обработки следует начинать с пониженных режимов резания.

В лаборатории института разработаны оригинальные методики и схемы механической обработки таких образцов:

**1. Точение образцов типа "тело вращения" диаметром  $d > 5$  мм (рис. 1), подвергнутых термической обработке ( $\sigma_s = 600 \div 2200$  МПа, HRC=45÷64) [4].**

При точении термически обработанных образцов стружка получается непрерывной, что затрудняет получения пробы, пригодной для химического анализа. С целью получения стружки состоящей из отдельных элементов предлагается применять схему прерывистого точения (рис. 1), при которой происходит периодическая смена рабочего и холостого пробег резца.

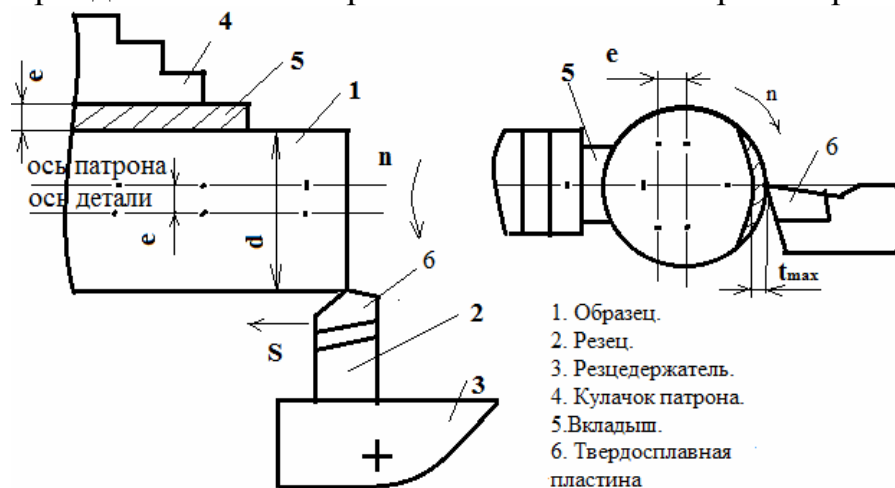


Рис. 1. Схема обработки при прерывистом точении

Образец 1 устанавливается в патроне 4 или в патроне с задним центром с эксцентриситетом  $e$ , величина которого зависит от диаметра образца  $d$ , глубины резания  $t$  и требуемой длины стружки  $l_{\text{раб}}$ . Эксцентриситет обеспечивается за счет вкладыша 5, при установке образца в 3-х кулачковом самоцентрирующем патроне или непосредственно в 4-х кулачковом патроне. Это позволяет получить зону срезаемого слоя в виде серповидного сегмента (заштрихованная область) с изменяемой глубиной резания  $t$  от нуля до  $t_{\text{max}}$ . Одним из параметров,

характеризующий процесс прерывистого точения является  $k = \frac{l_{раб}}{l_{хол}}$  – коэффициент прерывистости (рис. 2), где  $l_{раб}$  – длина рабочего пробега, равная дуге  $\overset{\frown}{adb}$ ,  $l_{хол}$  – длина холостого пробега, равная дуге  $\overset{\frown}{bfa}$  (для предлагаемой схемы  $k = 0,1–0,5$ ).

Для получения стружки с заданными параметрами необходимо определить величину эксцентриситета [4].



Рис. 2. Схема для определения величины эксцентриситета

Например: для исходных параметров  $R=20$  мм,  $l_{раб}=12$  мм,  $t_{max}=0,2$  мм, величина эксцентриситета равна  $e \approx 5,0$  мм. В качестве материала режущей части 6 резца выбираем твердый сплав вольфрамокобальтовой (ВК) группы [1]. На рисунке 3а. представлены фотографии стружки, а в таблице 1 режимы резания и геометрические характеристики стружки при прерывистом точении.



а)



б)

Рис. 3. Образцы стружки: а – прерывистое точение; б – обычное точение ( $l$ -длина,  $h$ -толщина,  $b$ -ширина)

Табл. 1. Режимы резания и геометрические характеристики стружки

| Метод механической обработки | Геометрические параметры прутка | Марка твердого сплава | Предел прочности $\sigma_b$ или твердость образца HRC | Режимы резания |             |          | Размеры стружки |          |          |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|----------------|-------------|----------|-----------------|----------|----------|
|                              |                                 |                       |                                                       | $V$ , м/мин    | $S$ , мм/об | $t$ , мм | $l$ , мм        | $h$ , мм | $b$ , мм |
| Точение                      | $R=20$ мм,<br>$e=5,0$ мм        | ВК8                   | HRC60                                                 | 10,0           | 0,03        | 0,2      | 10÷12           | 0,03     | 0,2      |

**Выводы:** применение режущего инструмента с механическим креплением пластин не приводит к ослаблению фиксации пластины. Это обусловлено схемой прерывистого точения, при которой глубина резания меняется от нуля до максимума и обратно, что уменьшает влияние негативных процессов в виде ударных нагрузок на резец; использование твердосплавных пластин группы ВТК (Т15К6) приводит к появлению сколов на режущей кромке уже на первых минутах работы резца; эксперименты показали эффективность применения твердосплавных пластин группы ВК (ВК8М); рекомендуемые режимы резания при прерывистом точении без применения СОЖ (табл. 2).

Табл. 2. Режимы резания при прерывистом точении

| Твердость образца | Глубина резания, $t_{\max}$ | Продольная подача, $S$ | Марка твердого сплава | Скорость резания, $V$ |
|-------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| HRC               | мм                          | мм/об                  |                       | м/мин                 |
| <40               | 0,1÷0,4                     | 0,04÷0,05              | ВК6                   | 25÷35                 |
| 40÷55             |                             | 0,03÷0,04              | ВК8                   | 18÷25                 |
| 55÷64             |                             | 0,02÷0,03              |                       | 10÷18                 |

**2. Сверление образцов (HRC=45÷70) типа: валы большого диаметра и длины, плиты, крупногабаритные детали буровых установок, кольца подшипников качения большого диаметра, детали ДВС и т.д. [6].**

Обычные сверла из быстрорежущей стали Р9, Р18, Р6М5 и т.д. не обладают достаточной твердостью и стойкостью [1] и быстро изнашиваются.

Учитывая вышесказанное, наиболее целесообразным является использование монолитных (цельных) сверл из твердого сплава (рис. 4) и спиральных буров и сверл, оснащенных твердосплавными пластинками, соответственно (рис. 5, 6).

Рассмотрим достоинства и недостатки каждого из видов с точки зрения получения качественной стружки для определения ее химического состава.



Рис. 4. Спиральные монолитные твердосплавные сверла



Рис. 5. Спиральные буры, оснащенные твердосплавными пластинками



Рис. 6. Спиральные, сверла оснащенные твердосплавными пластинками

### 2.1. Спиральные монолитные твердосплавные сверла (рис. 4).

Преимущества: сверление закалённых сталей до 70 HRC; снижение времени обработки благодаря высокой скорости и подачи; высокая точность и качество обрабатываемого отверстия; специальная конструкция с утолщённой сердцевиной для обеспечения жесткости и прочности; увеличенная стойкость инструмента; простота переточки; наличие в некоторых конструкциях каналов для подачи СОЖ.

Недостатки: высокая стоимость порядка (6000÷12000) рублей; избыточность некоторых свойств с точки зрения получения стружки для химического анализа.

Высокая стоимость и избыточность свойств делает их применение не целесообразным.

### 2.2. Спиральные буры, оснащенные твердосплавными пластинками (рис. 5).

Спиральные буры, оснащенные твердосплавными пластинками, с точки зрения получения стружки из закаленных образцов, имеют два существенных недостатка: хвостовая часть бура плохо подходит к патрону сверлильного станка, что приводит к биению при сверлении; геометрия режущей части бура требует дополнительной переточки.

Это делает их применение не целесообразным.

### 2.3. Спиральные сверла, оснащенные твердосплавными пластинками (рис. 6).

Следует различать спиральные сверла, оснащенные твердосплавными пластинками для работы по бетону (камню) и металлу. Первые не имеют заточки по боковой режущей кромке, а задний и передний углы отрицательные ( $\alpha = \gamma \approx -45^\circ$ ), что также требуют переточки сверла.

Остановимся более подробно на спиральных сверлах по металлу, оснащенных пластинками из твердого сплава.

Преимущества: сверление закалённых сталей до 70 HRC; низкая стоимость, порядка (200÷500) рублей, по сравнению с монолитными твердосплавными сверлами; простота переточки.

Недостатками: ослабление корпуса инструмента в расположение места, где припаивается пластина; перегрев припоя в зоне резания, т.е. в зоне высоких температур, что ослабляет крепление пластины; не гарантирует точного сверления (для получения стружки не требуется).

Сочетание вышеперечисленных свойств делает применение спиральных сверл по металлу, оснащенных пластинками из твердого сплава, наиболее целесообразным.

На рисунке 7 представлена схема резания, основные геометрические параметры и форма заточки режущей части сверла с точки зрения получения оптимальной стружки для химического анализа [3], где  $d$  – диаметр сверления в мм;  $\gamma = (-5^\circ \div -15^\circ)$  – передний угол;  $2\phi = (120^\circ \div 140^\circ)$  – угол между режущими лезвиями;  $\alpha = (16^\circ \pm 3^\circ)$  – задний угол;  $s$  – вертикальная подача в мм/об;  $n$  – частота вращения сверла об/мин,  $v$  – скорость резания в м/мин.

С целью получения оптимальной по размерам стружки, алмазным диском по задней поверхности твердосплавной пластины делаются проточки стружкоделительных канавок глубиной  $h = (0,2 \div 0,5)$  мм (рис. 7, б). Межосевое расстояние  $a$  между осями соседних отверстий берется меньше диаметра

сверления  $d$  на  $(1\div3)$  мм в зависимости от величины  $d$  (рис. 7, г). Предложенные меры приводят к дроблению стружки. В качестве материала режущей части сверла выбираем твердый сплав вольфрамо-кобальтовой (ВК) группы. В таблице 3 приведены ориентировочные режимы резания при сверлении, а на рисунке 8 представлена фотография полученной стружки, которая полностью соответствует требованиям [2].

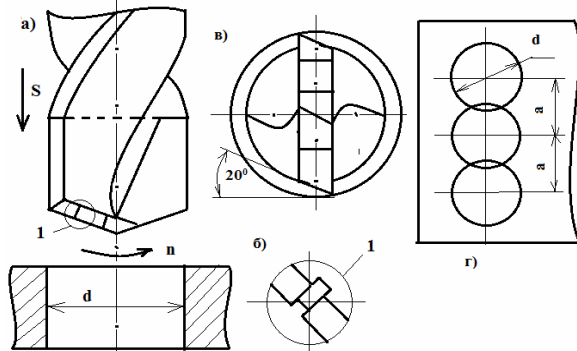


Рис. 7. Геометрия режущей части сверла и схема резания при сверлении

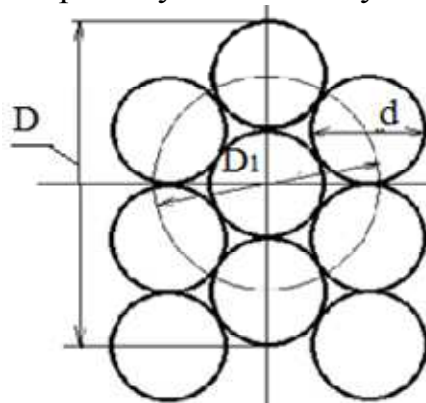
Рис. 8. Фотография стружки (увеличено)

Табл. 3. Режимы резания при сверлении

| Твердость образца | Диаметр сверла, $d$ | Подача, $S$ | Марка твердого сплава | Скорость резания, $V$ |
|-------------------|---------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| HRC               | мм                  | мм/об       | ВК8М                  | м/мин                 |
| <45               | 8÷12                | 0,04÷0,06   |                       | 20÷30                 |
| 45÷55             |                     | 0,03÷0,05   |                       | 20÷25                 |
| 55÷60             |                     | 0,02÷0,04   |                       | 10÷16                 |
| 60÷70             |                     | 0,02÷0,03   |                       | 8÷13                  |

**3. Фрезерование образцов (HRC=45÷70) типа: проволока диаметром  $d \leq 5$  мм (стальные канаты, гибкие валы, проволока для сварки и т.д.) [5].**

Получение стружки из проволоки связано с определенными трудностями: высокая твердость и прочность; неудобная форма и размеры геометрии образцов. Для повышения производительности, а также учитывая вышеизложенное, предлагается проволоку диаметром 0,3-5,0 мм, определенной длины, собирать в пучок (рис. 9) и поместив в специальное приспособление (рис. 10 а,в) отбирать стружку методом фрезерования на токарном станке. Наиболее целесообразно собирать пучок по следующей схеме (рис. 9).



$d$  – диаметр проволоки;  
 $D = 3 \cdot d$  – диаметр отверстия в оправке;  
 $D_1 = 2 \cdot d$  – диаметр центров окружностей сечений первого ряда проволоки;  
 $N$  – количество проволоки в пучке.

Рис. 9. Схема пучка проволоки

Увеличение количество рядов проволоки в пучке приводит к уменьшению жесткости отдельной проволоки. Поэтому число рядов ограничиваем одним с центральным сердечником. Округляем  $N$  до ближайшего меньшего целого числа  $N=7$ . Из формулы (1) вытекает, что число проволок  $N$  в ряде не зависит от диаметра проволоки:

$$N \approx (\pi \cdot D_1 / d) + 1 = (2 \cdot \pi \cdot d / d) + 1 = 2 \cdot \pi + 1 = 7,28. \quad (1)$$

На рисунках 10 а,б представлены конструкция и фотография приспособления для фрезерования пучка проволоки. Державка 3 вместе с оправкой 2 устанавливается в корпусе резцедержателя 5 токарно-винторезного станка так, чтобы ось центрального сердечника была на линии центров или чуть выше. Пучок выступает из оправки на величину 1-2 мм в зависимости от диаметров проволоки и фрезы. С помощью приводов продольной и поперечной подачи станка пучок приводится в соприкосновение с цилиндрической фрезой 8, закрепленной в патроне и получающей вращательное движение. В дальнейшем поперечная подача осуществляется с помощью винта ручной подачи 6. Упорный подшипник 7 служит для уменьшения усилий в винтовой паре. Стружка собирается в лотке установленном на направляющих станка (на фотографии лоток не показан).

Определяется общая длина одной проволоки в пучке  $l_{об}$  и длина проволоки для получения требуемой массы стружки  $l$  [5]. Например: для проволоки  $d=1,5$  мм и требуемой массы пробы  $m=5$ г,  $l_g=2$ мм,  $l_o=6$  мм имеем

$$l = (4 \cdot 5) / (7 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,25) = 51,84 \text{ мм};$$

$$l_{об} = 52 + 2 + 6 = 60 \text{ мм}.$$

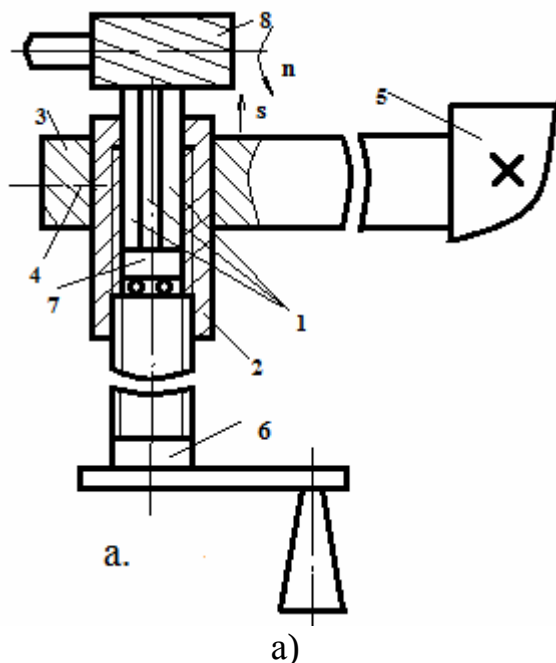


Рис. 10. Конструкция а) и фотография б) приспособления (1-проволока, 2-оправка, 3-державка, 4-стопорный винт, 5-корпус резцедержателя, 6-винт поперечной подачи, 7-опорный подшипник, 8-борфреза цилиндрическая)

На рисунке 11 представлена схема резания, где  $n$ -частота вращения борфрезы, об/мин;  $V$ -скорость резания в м/мин;  $D_\phi$ - диаметр борфрезы в мм;  $S$ -поперечная подача пучка проволоки (ручная). В качестве режущего инструмента

взята цилиндрическая борфреза (рис. 12) с материалом режущей части - твёрдый сплав (ТУ 3918-038-00224633-07).

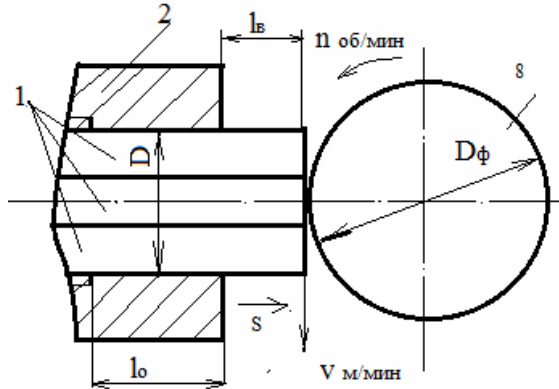


Рис. 11. Схема резания



Рис. 12. Цилиндрическая борфреза

На основании проведенных экспериментов (табл. 4) получена стружка (рис. 13.), которая полностью соответствует требованиям [2]. Стружка похожа на скрученные чешуйки длиной 0,5-1,2 мм, шириной 0,1-0,5 мм и толщиной 0,01-0,05 мм без цветов побежалости.

Табл. 4. Параметры экспериментов

| Материал проволоки | Временное сопротивление разрыву, $\sigma_s$ МПа | Диаметр проволоки, $d$ мм | Диаметр фрезы, $D_\phi$ мм | Частота вращения фрезы, $n$ об/мин | Форма стружки |
|--------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------|
| Сталь 65           | 1800                                            | 1,5                       | 12,5                       | 315                                | 13,а          |
| Сталь Св06Х19Н9Т   | 900                                             | 1,2                       | 12,5                       | 560                                | 13,б          |



а)



б) (увеличено)

Рис. 13. Форма стружки (а – сталь 65, б – сталь Св-06Х19Н9Т)

Таким образом, рассмотренные методы получения стружки, для определения ее химического состава, охватывают практически все формы и размеры деталей и образцов, поступающих в лабораторию.

#### Список литературы

1. Грановский Г.И. и др. Теория резания металлов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304с.
2. ГОСТ 7565-81 Чугун, сталь и сплавы. Метод отбора проб для определения химического состава. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 13 с.
3. Справочник технолога машиностроителя. Т.2 / Под ред. Дальского А.М., Косиловой А.Г. и др. 5-е изд., пер. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 457с.

4. Хачатурян А.М. Получение методом прерывистого точения стальной стружки для определения ее химического состава // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2019. – №7. – С. 101-105.
5. Хачатурян А.М. Получение проб для определения химического состава стальной проволоки // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2020. – №9. – С.74-77.
6. Хачатурян А.М. Особенности сверления закаленных сталей с целью получения стружки для химического анализа // Машиностроение: инновационные аспекты развития. Материалы IV международной научно-практической конференции. – СПб.: СПбФ НИЦ МС, 2021. – №4. – С 4-8.

Сведения об авторе:

*Хачатурян Арутюн Мартиросович* – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Математических и естественно-научных дисциплин», КИМРТ, г. Астрахань.