

# ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

621.9.01 (075.8)

## МЕТОД РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА С НАГРЕВОМ В ПРИМЕНЕНИИ К ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

*Канд. техн. наук. доц. В.И.КОТЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук С.М. КОРСАКОВ*

*Приводятся результаты работы по разработке метода резания с нагревом. Рассматриваются физические процессы, происходящие в зоне резания с нагревом: стружкообразование, контактные явления, формирование шероховатости поверхности.*

Широкое распространение в металлообработке станков с ЧПУ, гибких автоматизированных производств и создание на их базе безлюдных производств предъявляют жесткие требования к процессам стружкообразования. Эти вопросы наиболее актуальны при резании металла с нагревом.

В зоне образования стружки можно выделить зоны, в которых в результате контактного взаимодействия и деформации обрабатываемого материала происходит генерирование теплоты. Из-за силового воздействия лезвия инструмента на материал деформируемый слой при пересечении плоскости скалывания подвергается пластическому сдвигу с образованием сливной стружки либо стружки скалывания.

При хрупком разрушении образуется стружка надлома. Срезанная стружка, скользит по передней поверхности резца со скоростью  $V_{стр.} = \epsilon \times V_{рез.}$ , (где  $\epsilon$  = усадка стружки,  $V_{рез.}$  - скорость резания) преодолевая сопротивление силы трения  $P_{тр.}$

Механическая работа силы трения может быть найдена из выражения:

$$A_{тр.} = P_{тр.} \times \epsilon \times V_{рез} \times t,$$

где:  $t$  - время резания.

Работа сил трения на передней поверхности резца является вторым источником образования теплоты.

Задняя поверхность резца в процессе резания скользит по детали (см. рис. 1.) со скоростью резания и преодолевает силу трения  $P_{тр.2}$ . Работа сил трения  $A_{тр.2} = P_{тр.2} \times V_{тр.}$  преобразуется также в тепло.



Рис. 1. Размещение площадок трения резца о деталь при резании металла. Вид (а) - на детали и (б) - на поверхностях режущего инструмента [1].

Выделившееся на площадках трения тепло нагревает резец. При скоростной обработке температура в зоне резания доходит до  $800-910^{\circ}\text{C}$ . Низкая теплопроводность режущего материала обуславливает сосредоточение высокой температуры в передней части резца, прилегающей к его вершине, что приводит к ускоренному разрушению режущего клина. При резании конструкционных сталей со скоростями более  $50 \text{ м/мин}$ , большая часть тепла отводится с отходящей стружкой, причем стружка нагревается до высоких температур. Проходя по поверхности резца, нагретая стружка передает часть тепла передней поверхности резца, добавляя к теплу, полученному резцом от трения режущей кромки инструмента о поверхность заготовки.

Экспериментально установлено, что при резании не закаленных сталей длина контакта стружки с передней, поверхностью резца не превышает  $1,5-2,0 \text{ мм}$  [1].

При резании закаленных сталей с высокими скоростями резания, малой глубиной резания и малой подачей был отмечен более высокий нагрев стружки, вплоть до плавления тонких слоев стружки, контактирующей с поверхностью резца [2].

При скоростях резания более  $100 \text{ м/мин}$  в зоне резания под действием высокой температуры граничный слой деформируемого металла сильно размягчается и играет роль твердой смазки. Коэффициент трения на передней поверхности резца уменьшается, что приводит к небольшому уменьшению теплового потока, подводимого к инструменту.

На силу резания, а следовательно, на работу резания и количество выделившейся теплоты оказывает влияние физико-механические свойства обрабатываемого материала. С увеличением прочности и твердости материала увеличивается и температу-

ра резания. С увеличением теплопроводности обрабатываемого материала температура резания уменьшается, поскольку отвод теплоты от места ее выделения в стружку и деталь интенсифицируется [3]. Жаропрочные, нержавеющие и трудно деформируемые высоколегированные, а также марганцовистые стали, при обработке имеют повышенную температуру резания [4].

В теории резания существует мнение о постоянстве оптимальной температуры резания для определенных сочетаний материалов детали и резца (см. табл.1.) [5].

Уменьшение температуры нагрева режущей кромки инструмента при холодном резании достигается интенсификацией отвода тепла с поверхности за счет подачи СОЖ на инструмент в зону резания [6].

Таблица 1

Марка инструмента		Вид обработки	T <sub>опт</sub> °С
обрабатываемого	инструмента		
45	T 5 K10	Точение	850
40X	T15 K6	—»—	950
ХВГ	ВК8	—»—	750
ШХ	T14 K8	—»—	750
X18H10T	T15K6	—»—	900
XH75BMЮ	ВК8	—»—	700
XH77TЮР	ВК8	—»—	720-750

Одной из причин завивания стружки является градиент скоростей перемещения слоев по сечению стружки, возникающий в пластически деформируемой зоне корня стружки.

Схематически деформационный сдвиг кристаллов, локализуемый в условной плоскости сдвига А-В в корне стружки представлен на Рис.2.

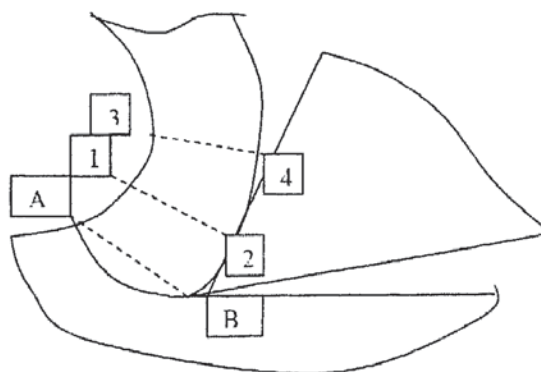


Рис.2. Схематическое изображение корня стружки при резании металла «холодным» способом.



Причиной изгиба и завивания стружки является различие в твердости металла наружных и внутренних слоев стружки. Данное различие обусловлено различной температурой нагрева наружного слоя стружки и внутреннего слоя, касающегося передней поверхности режущего инструмента.

Как известно, наибольшая температура при «холодном» резании возникает в зоне, обозначенной на схеме точкой «В» и на передней поверхности резца в зоне точки «2». Разогретый в точках А, 1 и 3 металл, приобретает значительно большие по сравнению с наружными зонами пластические свойства. На участке между точками В-4 металл расширяется в большей степени, чем на участке между точками А-3, где он менее пластичен и, как следствие, сжат. Торможение стружки о переднюю поверхность резца не сдерживает процесс завивания стружки, а благоприятствует ему, поскольку от трения стружка разогревается в большей степени, чем при деформационном сдвиге по плоскости А-В.

Процесс стружкообразования при резании с нагревом отличается от выше указанного тем, что при резании с нагревом наружные слои металла нагреты до большей либо равной температуры нагрева слоя, касающегося передней поверхности резца [7]. В результате отсутствия напряжений сжатия в наружных слоях стружка не завивается. Стружка сходит с режущего инструмента в виде прямой или слабо изогнутой ленты, а вибрация, сопровождающая холодное резание полностью отсутствует (см. фотографию резания металла с нагревом на рис.3).

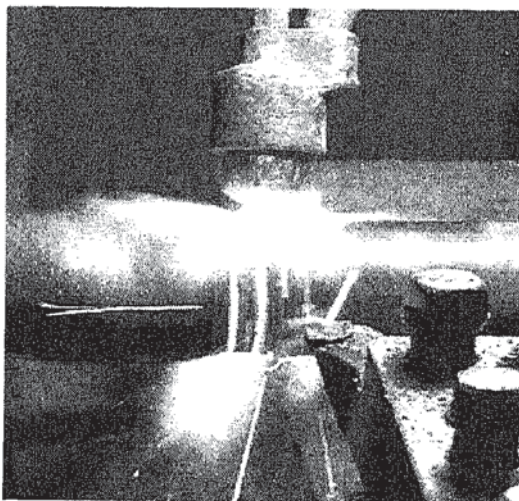


Рис.3. Фотография резания с нагревом цилиндрической заготовки из стали 45

В результате изменения процесса стружкообразования у обработанной поверхности детали получаются меньшие по величине параметры шероховатости. Исследование шероховатости поверхности, обработанной холодным резанием и резанием с нагре-

вом, проводили на ступенчатых цилиндрических образцах, полученных при различных режимах резания на токарном станке 1К62. Результаты замеров в соответствии с требованиями ГОСТ были переведены в показатель  $Ra$  по формуле:  $Rz = k Ra$ , где  $k = 4$  при  $Rz = 80 - 2,5$  мкм; на базовой длине в 2,5мм.

Результаты замеров шероховатости поверхности образцов представлены в виде графиков зависимости  $Ra = f(V)$  при  $S = \text{const}$  для ст. 45, 40X и 20X13, а также зависимость  $Ra = f(S)$  при  $V = \text{const}$  и  $t = \text{const}$ . см. рис.4 – 8.

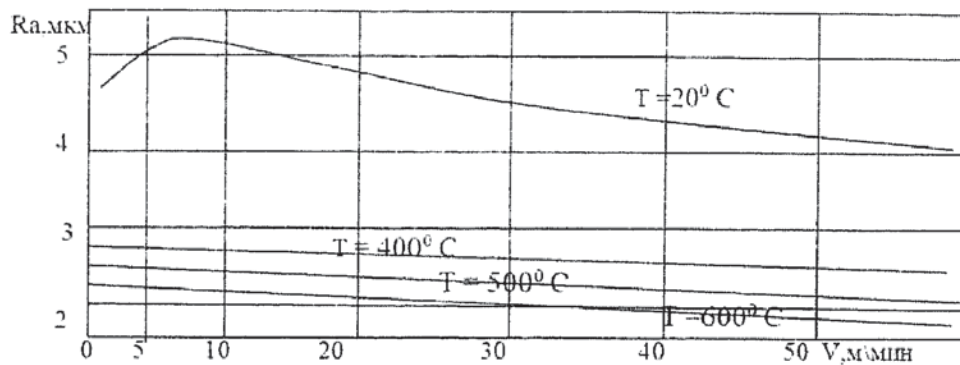


Рис.4 Зависимость параметров шероховатости  $Ra$  в мкм от скорости резания  $V, \text{м/мин}$  при  $S = \text{const}$ . при холодном резании и резании с нагревом стали ст.45  $Ra, \text{мкм}$ .

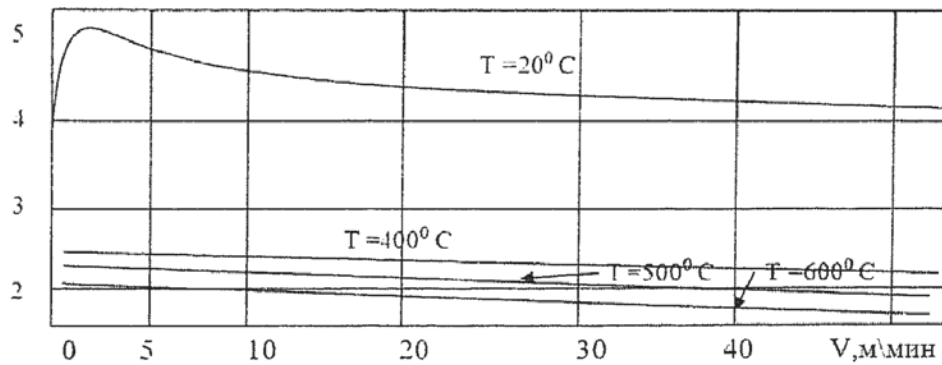


Рис.5 Зависимость параметров шероховатости  $Ra$  в мкм от скорости резания  $V, \text{м/мин}$  при  $S = \text{const}$ . при холодном резании и резании с нагревом стали ст.40X.

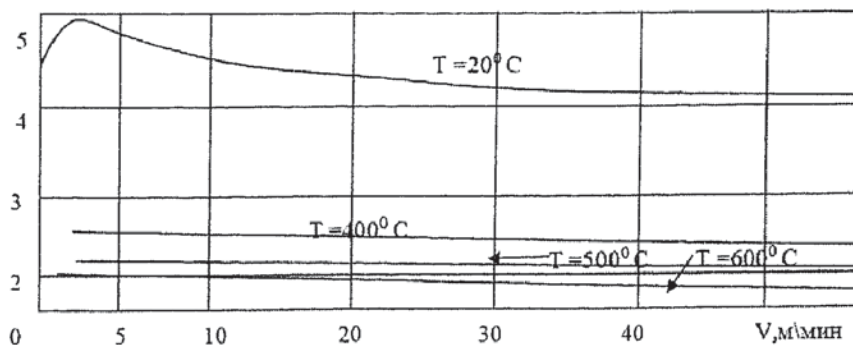


Рис.6 Зависимость параметров шероховатости  $Ra$  в мкм от скорости резания  $V, \text{м/мин}$  при  $S = \text{const}$ . при резании стали ст. 20X13

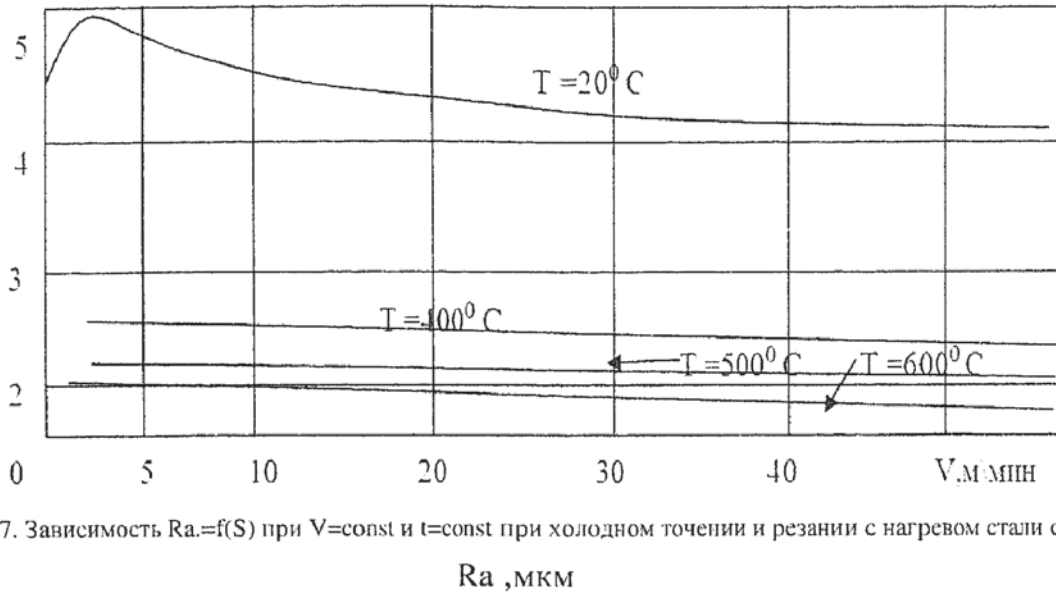


Рис.7. Зависимость  $R_a=f(S)$  при  $V=\text{const}$  и  $t=\text{const}$  при холодном точении и резании с нагревом стали ст. 45.

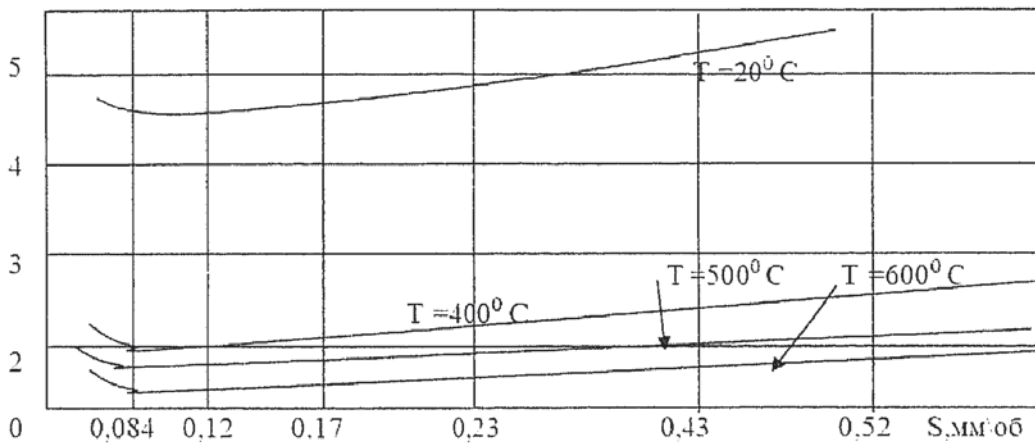


Рис.8. Зависимость  $R_a=f(S)$  при  $V=\text{const}$  и  $t=\text{const}$  при холодном точении и резании с нагревом стали ст.40Х.

Как показали результаты экспериментов параметры шероховатости при резании с нагревом на всех сталях и при всех режимах значительно ниже параметров шероховатости, полученных на образцах холодного резания.

Характерной особенностью резания с нагревом заготовки пламенем горелки является резкое изменение соотношения твердости обрабатываемого нагретого металла и твердости резца. Увеличение этого соотношения уменьшает величину погрешности, вызванную колебаниями твердости при точении. Кроме того, при принятых ограничениях эксперимента происходит уменьшение величины колебания припуска на обработку из-за отсутствия вибрации при резании с нагревом по сравнению с «холодным» точением. Все сделанные оговорки позволили в первом приближении принять равными



нулю погрешности, вызванные упругими деформациями, и погрешности от износа инструмента. Тогда сумму динамических погрешностей можно представить в виде:

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = f(\Delta_{СТ} + \Delta_T),$$

где  $\Delta_{СТ}$  – погрешность, вызванная геометрическими неточностями станка;

$\Delta_T$  – температурные деформации детали в процессе точения.

Экспериментальная проверка повышения точности обработки проводилась на цилиндрических образцах диаметром 10мм и длиной в 100 мм. Результаты замеров были сведены в таблицу 2.

Таблица 2

№ замера	Холодное точение				№ замера	Резание с нагревом T=600°C			
	Диаметр D1, мм	Диаметр D2, мм	Диаметр D3, мм	Бочкообразность		Диаметр D1, мм	Диаметр D2, мм	Диаметр D3, мм	Бочкообразность
1-3 А	9,402	9,461	9,404	0,058	1-3 Е	9,400	9,43	9,400	0,030
4-6	9,401	9,459	9,406	0,054	4-6	9,400	9,428	9,400	0,028
1-3 Б	9,401	9,470	9,405	0,066	1-3 З	9,401	9,430	9,400	0,029
4-6	9,401	9,469	9,406	0,064	4-6	9,400	9,429	9,401	0,028
1-3 В	9,402	9,471	9,407	0,066	1-3 И	9,399	9,420	9,399	0,019
4-6	9,401	9,467	9,406	0,062	4-6	9,399	9,419	9,399	0,018
1-3 Г	9,401	9,462	9,402	0,061	1-3 К	9,401	9,410	9,401	0,009
4-6	9,400	9,470	9,403	0,068	4-6	9,400	9,409	9,401	0,009
1-3 Д	9,400	9,465	9,401	0,064	1-3 Л	9,400	9,431	9,400	0,031
4-6	9,402	9,468	0,404	0,066	4-6	9,400	9,429	9,400	0,029
Средняя величина отклонения при холодном резании				0,063	Средняя величина отклонения при резании с нагревом T=500°C				0,023

Температура нагрева металла на глубине резания равнялась 600°C. Отклонения формы детали определялись разницей максимальных величин размеров диаметральных сечений. При холодном резании с зажимом заготовки в патроне и с поджимом центром задней бабки из-за отжатия детали резцом по ходу обработки наблюдалась бочкообразность формы. При резании с нагревом отклонения формы были значительно меньше.

## ВЫВОДЫ

Точение стали с нагревом повышает качество обработанной детали за счет снижения параметров шероховатости и уменьшения величин отклонений формы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420 с.
2. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1986. 237 с.
3. Резников А.Н. Температура и охлаждение режущих инструментов. М. Машгиз, 1963. 200 с.
4. Фельдштейн Э.И. Обрабатываемость сталей в связи с условиями термической обработки и микроструктурой. М: Машгиз. 1953. 482 с.
5. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М: Машиностроение, 1981. 280 с.
6. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М. Машиностроение, 1982. 320 с.
7. Котельников В.И., Зотова В.А. Особенности резания металла с предварительным нагревом срезаемого слоя. // Сб. докладов на 6 ой Всероссийской н/пр. конференции «Современные технологии в машиностроении» Пенза, ПГТУ, 2003. с.335-339.