



# ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

## «КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПО НАЗНАЧЕНИЮ»

# План

1. Классификация инструментальных сталей
2. Стали для режущего и мерительного инструмента
3. Стали для штампового инструмента

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

Инструментальные стали классифицируются по двум признакам— по химическому составу;  
— по назначению.

По химическому составу стали делятся на углеродистые, легированные, высоколегированные. По назначению делятся на стали ↓

для режущего и мерительного инструмента



для штампового инструмента (стали для холодного и горячего деформирования).



## Контрольные вопросы:

1. До какой температуры сохраняют теплостойкость легированные инструментальные стали?

## СТАЛИ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО И МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Стали для мерительного инструмента должны иметь высокую твёрдость, износостойкость, достаточную прочность. Эти требования обеспечиваются за счёт термической обработки и легирования.

### Углеродистые стали

Углеродистые стали из-за низкой прокаливаемости (10–12 мм) используются для изготовления мелкогазмерного инструмента. Режущий инструмент, выполненный из заэвтектоидных сталей У10–У13, подвергается термической обработке, которая состоит из закалки и низкого отпуска.



Сталь У10

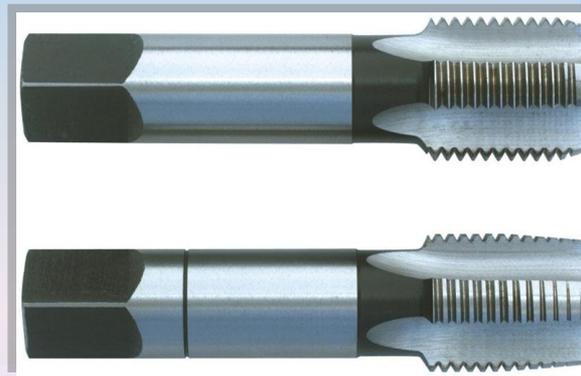
Структура – мартенсит отпущенный с включениями цементита.



## СТАЛИ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО И МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Для изготовления инструмента, который работает на удар, используют стали с более низким содержанием углерода (стали У7, У8, У9).

Недостатки этой группы сталей заключаются в низкой тепло-стойкости (стали сохраняют твердость до температуры ~200–250 °С), прокаливаемости, а также в том, что закалку необходимо проводить в воде, а это может привести к короблению инструмента и даже к образованию трещин.



Сталь У7



Сталь У8



Сталь У9



# СТАЛИ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО И МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

## ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Это стали повышенной прокаливаемости. Они содержат до 5 % легирующих элементов (стали X, 9ХС, ХВГ, ХВСГ, ХВ5 и другие). Такие стали закаливают в масле и инструмент, как правило, прокаливается насквозь. Закалка и низкий отпуск формируют в легированных инструментальных сталях структуру отпущенного мартенсита с карбидами, что обеспечивает высокую износостойкость.



Сталь X



ХВГ

Такие стали используются для инструментов, которые в процессе работы нагреваются до температуры ~250–300 °С



ХВСГ

В отличие от углеродистых из легированных сталей можно изготавливать инструмент больших размеров и более сложной формы.



# СТАЛИ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО И МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

## БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

Эти стали предназначены для изготовления режущего инструмента, который работает при больших скоростях резания. Главное их преимущество – это высокая теплостойкость, которая достигается за счёт сохранения мартенсита до высоких температур и образования специальных карбидов.



Основными легирующими элементами в быстрорежущих сталях являются вольфрам и молибден. Значительно повышают теплостойкость и твёрдость после термической обработки кобальт и ванадий.

Теплостойкость стали обеспечивается легированием карбидообразующими элементами (вольфрам, молибден, хром, ванадий) в таком количестве, когда они связывают почти весь углерод в специальные карбиды и эти карбиды переходят в раствор при закалке.



## СТАЛИ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО И МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

В большинстве быстрорежущих сталей углерода ~ 1 %, хрома ~ 4 %, ванадия ~ 1,5–2,0 %. В стали P6M5 кроме указанных элементов содержится молибден, а в стали P6M5K5 еще и кобальт.

Вольфрам – дефицитный и дорогой элемент. Поэтому частично вольфрам заменяют молибденом. Содержание молибдена в быстрорежущих сталях обычно не превышает 5 %.

По теплостойкости быстрорежущие стали условно можно разделить на две группы:

стали нормальной производительности (умеренной теплостойкости);

стали повышенной производительности (высокой теплостойкости).

В первую группу входят стали, легированные вольфрамом и молибденом и содержанием ванадия 1–2 %: P18, P12, P9, P6M5. Эти стали сохраняют высокую твердость (HRC ≥ 58) до 620 °С.

В группу сталей повышенной теплостойкости входят стали с содержанием ванадия больше 2 %, а также стали, дополнительно легированные кобальтом (P6M5K5, P12Ф3, P10K5Ф2 и др.). Стали этой группы сохраняют высокую твердость (HRC ≥ 64) до 640 °С.



## СТАЛИ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО И МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Быстрорежущие стали по структуре в отожжённом состоянии относятся к ледебуритному классу.

В структуре литой быстрорежущей стали имеется сложная эвтектика типа ледебурита. Эвтектика располагается в виде сетки по границам зерен, что снижает вязкость стали.

Микроструктура деформированной быстрорежущей стали. Карбидные строчки



X 450

При горячей обработке давлением сетка эвтектики дробится и эвтектические карбиды распределяются в структуре равномерно.

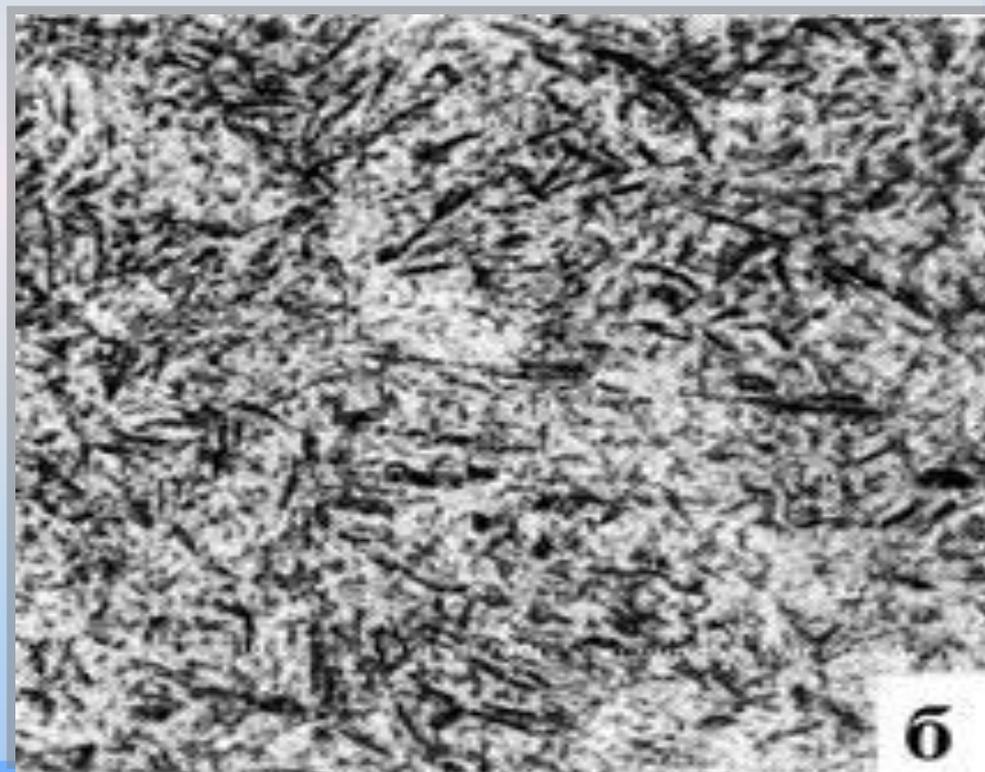
Горячедеформированную быстрорежущую сталь подвергают отжигу при 840–860 °С для снижения твёрдости и улучшения обрабатываемости резанием.



## СТАЛИ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО И МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Необходимый уровень эксплуатационных свойств инструмента из быстрорежущей стали достигается особой термической обработкой, которая заключается в нагреве под закалку до высоких температур (1250–1280 °С), что необходимо для растворения вторичных карбидов и получения при нагреве высоколегированного аустенита, и последующем охлаждении в масле.

Такая термическая обработка обеспечивает получение после закалки структуры высоколегированного мартенсита, имеющего высокую теплостойкость, нерастворённых избыточных карбидов и остаточного аустенита.



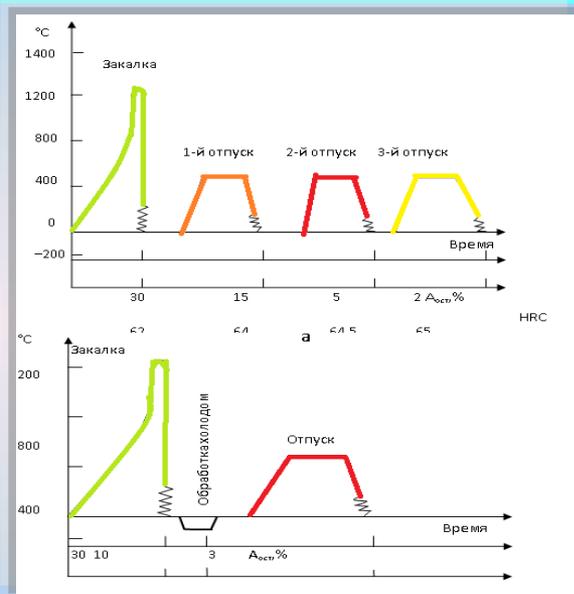
структура высоколегированного мартенсита



# СТАЛИ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО И МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

После закалки не достигается максимальная твердость, так как в структуре кроме мартенсита и карбидов в большом количестве присутствует остаточный аустенит (30–40 %), который снижает общую твердость стали.

Для устранения остаточного аустенита (уменьшения его до 3–5 %) и повышения твердости проводят трехкратный отпуск при температуре ~550 °С, при котором происходит распад аустенита с образованием мартенсита и мелкодисперсных карбидов



характер изменения твердости разных инструментальных материалов с повышением температуры:

1 – твердые сплавы; 2 – быстрорежущие стали; 3 – твёрдость HV 1000–1100. углеродистые стали.

Для улучшения режущих свойств и повышения стойкости инструмент из быстрорежущей стали после окончательной термической обработки подвергают низкотемпературному цианированию, в результате которого на поверхности образуется тонкий (0,02–0,07 мм) цианированный слой, обеспечивающий

Цикл термической обработки быстрорежущей стали может быть сокращён, если сразу после закалки сталь обработать холодом при температуре –75...–80 °С. В этом случае вместо трёхкратного отпуска применяют однократный отпуск



## Контрольные вопросы:

1. Какие требования предъявляются к сталям для режущего и мерительного инструмента?
2. Привести примеры марок углеродистой стали для режущего и мерительного инструмента и указать режим их термической обработки.
3. Привести примеры легированной инструментальной стали для режущего инструмента. Указать термическую обработку.

# СТАЛИ ДЛЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

## Стали для штампов холодного деформирования

Стали для штампов холодного деформирования должны обладать высокой твердостью, износостойкостью в сочетании с удовлетворительной вязкостью. Применяют легированные стали (Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ) и углеродистые (У10, У11, У12).



Штампы холодного деформирования

Термическая обработка включает закалку и отпуск в диапазоне температур 150–350 °С в зависимости от величины ударных нагрузок

Для изготовления крупных штампов сложной формы применяют высокохромистые стали марок Х12, Х12М, Х12Ф1, Х6ВФ, обладающие высокой износостойкостью и глубокой прокаливаемостью.



## СТАЛИ ДЛЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Все штамповые стали для холодного деформирования являются высокоуглеродистыми, а количество легирующих элементов определяется необходимой износостойкостью и прокаливаемостью стали.

Высокохромистые стали X12M и X12Ф1 относятся по структуре в отожжённом состоянии к ледебуритному классу. Кроме основного легирующего элемента – хрома эти стали содержат молибден или ванадий, которые способствуют сохранению мелкого зерна и повышают устойчивость против разупрочнения при отпуске



Сталь X12M

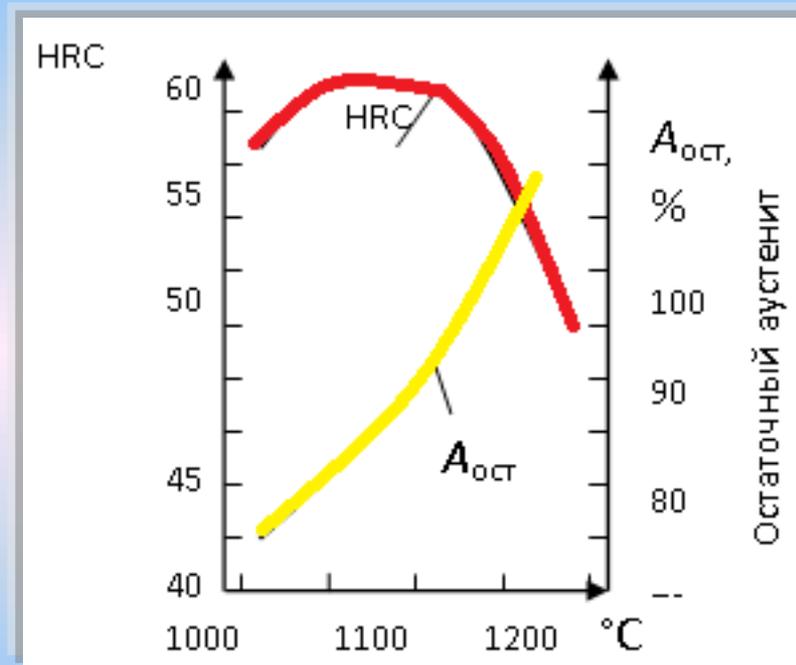
Высокохромистые стали имеют высокую прокаливаемость (критический диаметр составляет 150–200 мм).



## СТАЛИ ДЛЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

С повышением температуры закалки увеличивается количество остаточного аустенита, что приводит к снижению твёрдости

Недостатком указанных сталей является карбидная неоднородность, что приводит к снижению износостойкости штампов и вязкости. Сталь X6ВФ содержит меньше углерода и хрома и менее склонна к карбидной неоднородности, чем высокохромистые стали.



Зависимость твёрдости и количества остаточного аустенита стали X12Ф1 от температуры нагрева под закалку

По прочности и вязкости она превосходит высокохромистые стали, но уступает им по прокаливаемости и износостойкости.

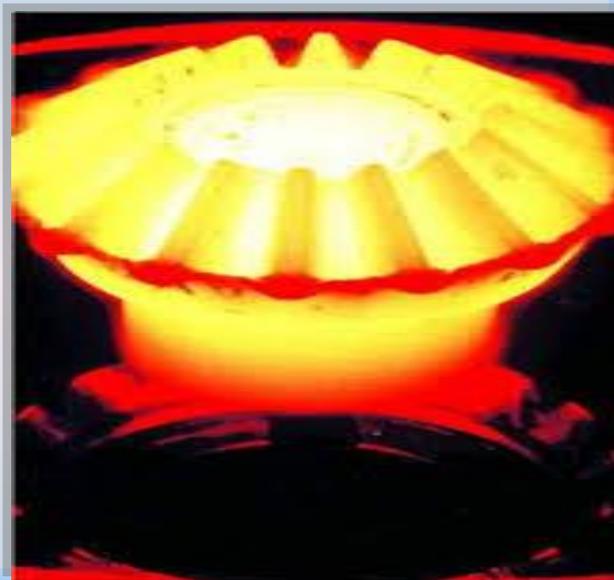


## СТАЛИ ДЛЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Для инструментов, работающих с большими ударными нагрузками, применяют стали повышенной вязкости: хромокремнистые стали (4ХС, 6ХС) и стали, дополнительно легированные вольфрамом (5ХВ2С).

### Стали для штампов горячего деформирования

Из сталей для штампов горячего деформирования изготавливают штампы для кузнечного производства. В процессе работы штампы подвергаются сжатию, растяжению, изгибу. При проведении горячей пластической деформации рабочая часть штампа нагревается. Поэтому сталь должна быть теплостойкой.



Горячая штамповка

Кузнечные штампы подвергаются периодическому нагреву и охлаждению, что может привести к появлению на их поверхности штампа трещин разгара

Поэтому сталь для таких штампов должна быть стойкой против разгара, то есть обладать высокой разгаростойкостью (способность выдерживать многократное нагревание и охлаждение без образования трещин).



## СТАЛИ ДЛЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Чтобы тепло не сосредотачивалось у рабочей поверхности, а распространялось по всему объёму штампа, сталь должна быть достаточно теплопроводной.

Можно сформулировать требования, которые предъявляются к таким сталям: высокая разгаростойкость, достаточные прочность и ударная вязкость при повышенных температурах, высокая износостойкость и теплопроводность, большая прокаливаемость (для крупных штампов).



Молотовые штампы

Молотовые штампы изготавливают из сталей 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ, 5ХНВС. Все стали содержат пониженное количество углерода – 0,5–0,6 %, что позволяет обеспечить достаточную ударную вязкость. Комплексное легирование обеспечивает большую прокаливаемость.

**Молибден и вольфрам повышают теплостойкость, измельчают зерно, уменьшают склонность стали к отпускной хрупкости.**

**Для получения более однородных свойств штамповые заготовки подвергают ковке и последующему отжигу**



## СТАЛИ ДЛЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Штамповые стали 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ, 5ХНВС – доэвтектоидные.

Температуру закали штампов выбирают на 40–50 °С выше критической точки Ас3. Стали 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ нагревают до 840 °С с охлаждением в масле. Охлаждение при заалке не доводят до комнатной температуры, а лишь до 150–200 °С, после чего переносят в печь для отпуска.



Сталь 5ХНМ

После заалки проводят средний отпуск, чтобы обеспечить до-статочными ударную вязкость и условный предел текучести.

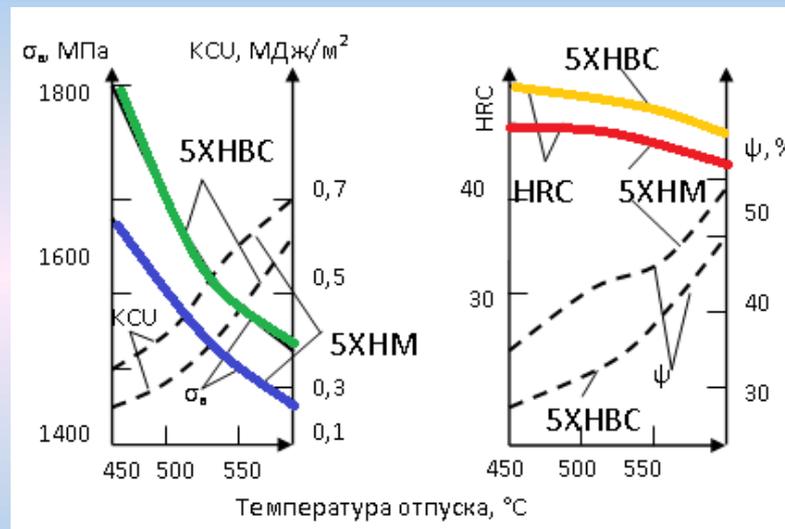


# СТАЛИ ДЛЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Температура отпуска и твёрдость после отпуска зависят от размеров штампа и условий его работы.

. Как правило, мелкие штампы отпускают при более низких температурах для получения твёрдости HRC 40–46. Крупные штампы, в которых деформирование крупных заготовок производится сильными ударами, отпускают при более высоких температурах с получением твёрдости HRC 35–37.

Особенностью теплостойких сталей является то, что они при отпуске дополнительно упрочняются в результате дисперсионного твердения, т.е. упрочнения стали в результате выделения карбидов и других упрочняющих фаз в дисперсном состоянии.



Влияние температуры отпуска на механические свойства сталей 5XNM и 5XNBC

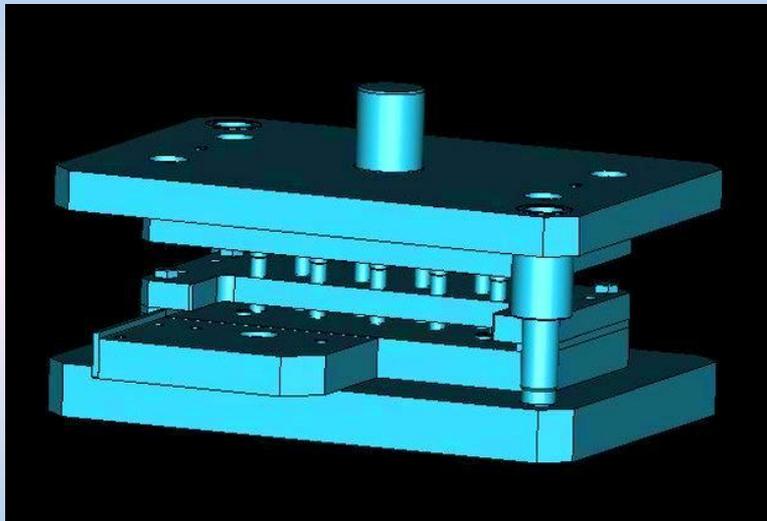
Для указанных сталей нагрев до температур выше 500–600 °C приводит к снижению прочностных свойств. Поэтому теплостойкие стали 5XNM и 5XGM применяют для изготовления штампов коловальных машин, которые работают при температурах  $\leq 500$ –550 °C при умеренных нагрузках.



## СТАЛИ ДЛЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Сталь умеренной теплостойкости 4X3BMФ сохраняет высокие механические свойства только при нагреве не выше 500–525 °С и применяется вместо 5XHM (5XGM).

Средненагруженный инструмент, который работает с разогревом поверхности до 600 °С, изготавливают из стали 4X5B2ФС. Температура закалки – 1030–1050 °С, охлаждение в масле.



Штамп ручной разводки пил

При повышении температуры отпуска до 600 °С в результате дисперсионного твердения происходит увеличение прочности, но снижаются пластичность и ударная вязкость.

Температура отпуска 580–620 °С позволяет получать трооститную структуру с достаточной вязкостью.

Стали повышенной теплостойкости (3X2B8Ф и 5X3B3MФС) используют для штампов, у которых поверхность разогревается до 600–700 °С. Температура нагрева под закалку – 1050 °С, охлаждение в масле. Отпуск – при 500 °С



## Контрольные вопросы

5. На какие группы делятся быстрорежущие стали по тепло-стойкости?
6. Какой термической обработке подвергают инструменты из быстрорежущей стали?
7. В чём причина высокой теплостойкости твёрдых сплавов?
8. Описать стали для штампов холодного деформирования.
9. Что такое разгаростойкость?
10. Какие стали применяются для инструментов, работающих с большими ударными нагрузками?
11. Из каких сталей изготавливают штампы для горячего деформирования? Какие требования предъявляются к таким сталям?
12. Какой термической обработке подвергают штампы для горячего деформирования?



# На самостоятельную работу ВЫНОСИТСЯ

- 1. Особенности термической обработки инструментальных сталей различного назначения





# Кафедра технології металів і матеріалознавства

E-mail [diana.borisovna@gmail.com](mailto:diana.borisovna@gmail.com)

**Автор: доц. Глушкова Д.Б.  
Lect13\_1M\_TKMIM\_GDB\_28.04.15**

