

УДК 621.789

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Куракова Н.П., Гаврин В.С., Гаврилов Г.Н., Костромин С.В.

*ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет  
им. Р. Е. Алексеева (603950, Россия, Нижний Новгород, Минина 24), e-mail: Necsys@mail.ru*

В статье приведены данные по разработке режима термической обработки конструкционной стали переходного аустенитно-мартенситного класса 13X15H4AM3. Рассмотрено влияние режимов закалки на механические свойства с последующей обработкой холодом и отпуском, а также представлены литературные данные по исследованию зависимостей механических свойств от температур отпуска и обработки холодом при фиксированной температуре закалки. Производилось исследование зависимости предела прочности и ударной вязкости от температуры закалки с последующей обработкой холодом при температуре  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  2 ч. и отпуском при температуре  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  1 в течение 1 часа. По полученным данным была установлена оптимальная температура закалки, после которой достигается наилучшее сочетание предела прочности и ударной вязкости. Было произведено металлографическое исследование образцов, после выбранного режима термической обработки.

Ключевые слова: ВНС5, 13X15H4AM3, Конструкционная сталь, высокопрочная сталь, предел прочности, ударная вязкость, аустенитно-мартенситный класс, переходный класс.

## RESEARCH OF PROPERTIES OF CORROSION-RESISTANT STEEL FOR PRODUCTS OF THE AIRCRAFT EQUIPMENT

Gavrin V.S., Kurakova N.P., Gavrilov G.N., Kostromin S.V.

*Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alexeyeva, 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Mininastreet 24, e-mail: Necsys@mail.ru*

Data on development of a mode of heat treatment of constructional steel of transitional class 13X15H4AM3 are presented in article. Are submitted influences of modes of tempering on mechanical properties with the subsequent processing by cold and leave and literary data of research of dependences of mechanical properties from temperatures of leave and processing by cold at a fixed temperature of tempering. Research of tensile strength and impact resistance from temperature tempering with the subsequent processing by cold was made at a temperature  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  2 h. and leave at a temperature of  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  within 1 hour. According to the obtained data the optimum temperature of tempering after which the best combination of tensile strength and impact resistance is reached was established. Metallography research of samples was made, after carrying out the chosen mode of heat treatment.

Key words: tensile strength, impact resistance, steel of transitional class.

Высокопрочная сталь переходного аустенитно-мартенситного класса 13X15H4AM3 обладает хорошим сочетанием прочности, ударной вязкости и пластичности.

За счёт изменения режимов термической обработки в структуре стали изменяется соотношение фаз, что позволяет получать изделия с заданными характеристиками прочности и вязкости [6].

Сталь 13X15H4AM3 подвергают закалке от  $1070\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , после которой структура состоит из мартенсита и аустенита. С целью увеличения мартенситной доли в структуре стали, изделия подвергают обработке холодом ( $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 4ч или  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 2 ч), после которой проводят отпуск (старение).

В процессе определения оптимальной температуры закалки образцы из стали 13X15H4AM3 закаливались от температур  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , с

последующей обработкой холодом при  $-70^{\circ}\text{C}$  в течение 2 ч. и отпуском при температуре  $200\text{--}350^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч. После проведения термической обработки производились механические испытания с определением прочности и ударной вязкости [4,5]. Результаты испытаний приведены на рисунках 1 и 2.

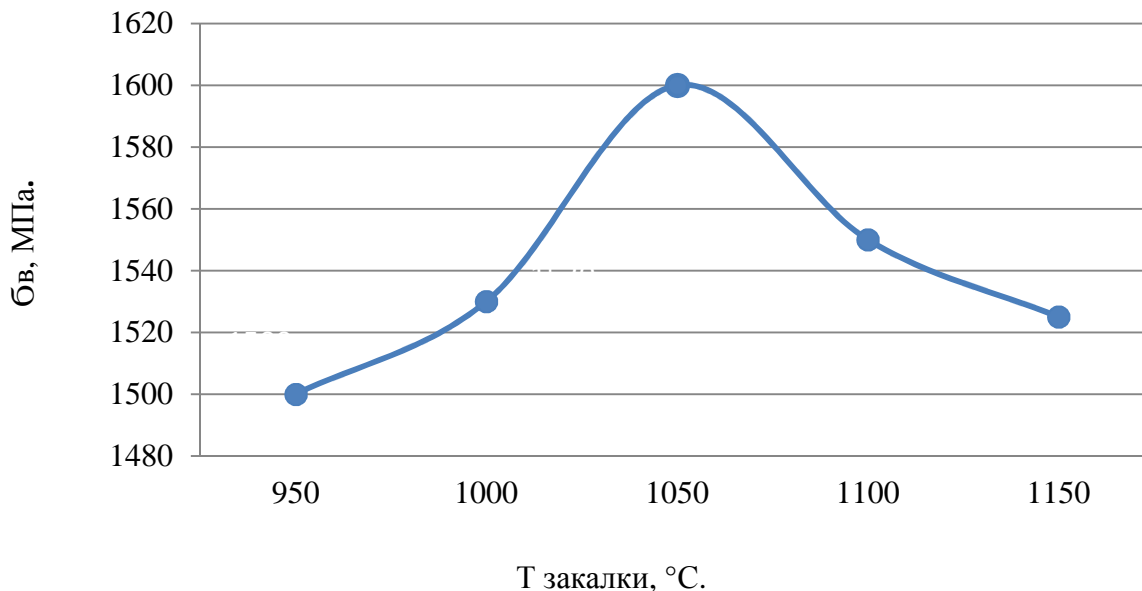
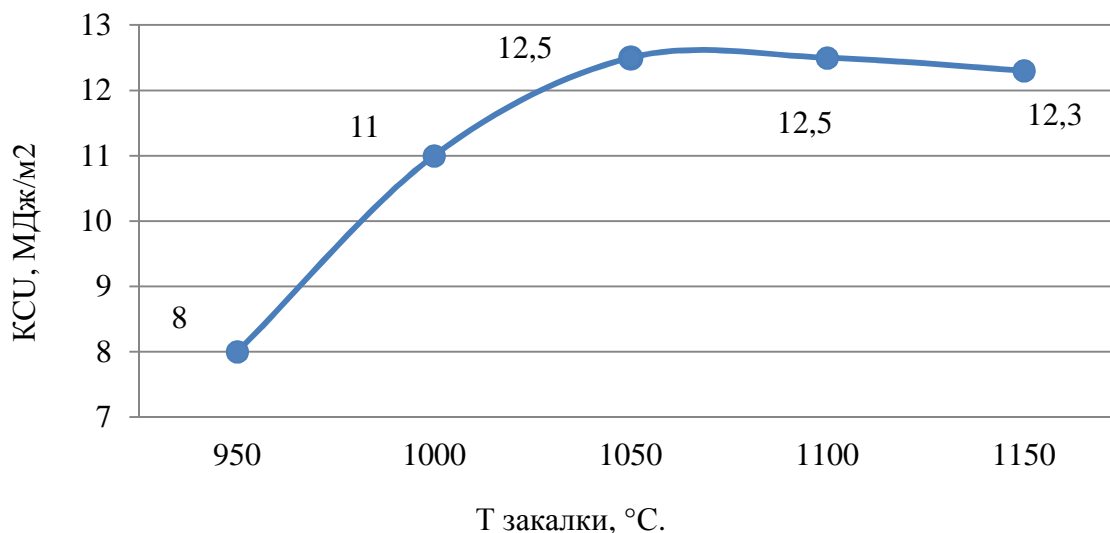


Рис. 1. Зависимость предела прочности стали 13X15H4AM3 от температуры закалки, с последующей обработкой холодом при  $-70^{\circ}\text{C}$  в течении 4 ч. в и отпуском при  $350^{\circ}\text{C}$ , 1 ч.



от температуры закалки, с последующей обработкой холодом при  $-70^{\circ}\text{C}$  в течение 4 ч. и отпуском при  $350^{\circ}\text{C}$ , 1 ч.

Из анализа зависимости механических свойств от температуры отпуска и температур более высокого нагрева видно (рис 3), что нагрев до 200°–450°С, особенно для случая выдержки в течение 5 ч, обеспечивает уровень прочности  $\sigma_B=1500 - 1600$  МПа, однако после отпуска при 450 °С сталь становится более хрупкой, т. к. снижается ударная вязкость [2].

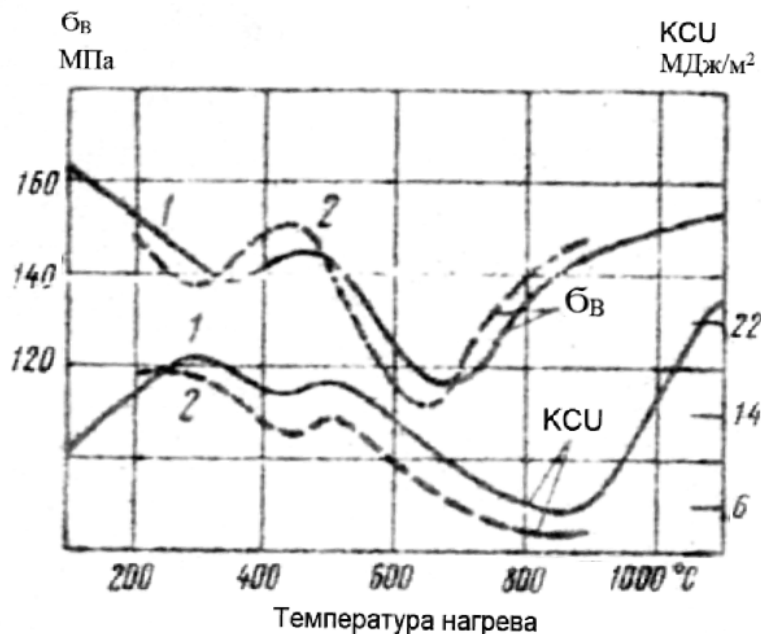


Рис. 3. Влияние температуры отпуска на механические свойства:

1 – время выдержки 1 ч; 2 – время выдержки 5 ч;

Термообработка: закалка с 1070°С, + обработка холодом (-70°) -2 ч отпуск

Отказ от старения при 450 °С, при которой наблюдается максимальное значение прочности, и выбор температуры 350 °С вместо 200 °С, обусловленный соображениями сохранения необходимой теплопрочности деталей, вызвал естественное снижение предела прочности до  $1400 \pm 10$  МПа.

Этот уровень в большинстве случаев не удовлетворяет предъявляемым к конструкции требованиям. Поэтому были предприняты попытки повысить его путем изменения других операций термической обработки, но с сохранением температуры 350 °С.

Проблема получения необходимых механических свойств в этом случае принципиально может решаться следующим образом:

- понижением температуры нормализации;
- понижением температуры и увеличением времени при обработке холодом.

Первый, наиболее приемлемый в технологическом отношении, фактор повышения прочности отпадает из-за недопустимости образования в большом количестве карбидных сеток по границам зерен.

При исследовании установлено, что понижение температуры обработки холодом не дает желаемого результата, так как процесс упрочнения при обработке холодом практически стабилизируется при температуре  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Максимальный перепад предела прочности, полученный обработкой при  $-70\text{ }^{\circ}$  и  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ , составляет 40–50МПа (рис. 4).

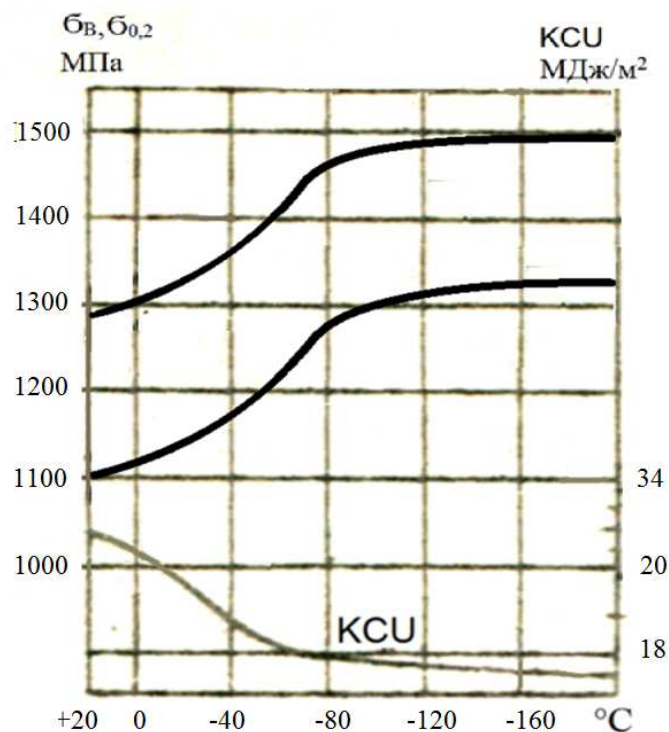


Рис. 4. Зависимость механических свойств от температуры обработки холодом.

Термообработка по режиму: Закалка от  $1070\text{ }^{\circ}\text{C}$  + обработка холодом в течении 2 ч + отпуск при  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 1 ч.

20

промышленных плавок. Увеличение времени выдержки при обработке холодом малоэффективно, так как после 4–5 ч выдержки количество мартенситной фазы достигает максимального значения и остается на одном уровне даже после выдержки в течение 12 ч. и более.

Таким образом, основным фактором, способным повлиять на конечное значение прочности, является температура отпуска. Строгое соблюдение установленного режима термической обработки: закалка от  $1070\text{ }^{\circ}\text{C}$ +обработка холодом при  $-50^{\circ}$  в течении 4 ч или при  $-70^{\circ}\text{C}$ - 2ч + отпуск при 200 -  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  – обеспечивает во всех случаях получение высоких пластических свойств ( $\Psi \geq 55\%$ ,  $\delta \geq 15\%$ ,  $KCU \geq 12\text{ МДж/м}^2$ ), структурной однородности металла и определенной корреляционной зависимости между твердостью и фактической прочностью в интервале 1400-1600 МПа.

Наиболее целесообразной температурой отпуска является интервал  $200\text{--}350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; выбор крайних или средних значений зависит от требуемой эксплуатационной теплостойкости

каждой конкретной детали и узла. При этом следует учитывать, что повышение рабочей температуры детали, предварительно отпущенной при 200°C, до 250-350°C приводит к естественному снижению прочности: в случае кратковременного одноразового нагрева - с 1550 до 1460 МПа и после нагрева в течение 5 ч и более – до 1400±10 МПа [3].

Закалка деталей от температур ниже 1070 °С приводит к неполному растворению карбидной фазы, образующейся по границам зёрен, при предварительной термической обработке, обеспечивающей улучшенную механообрабатываемость. Установлено, что для полного растворения карбидной фазы время прогрева при закалке должно составлять 0,8 мин на 1 мм толщины детали + 25 мин. При толщинах более 35 мм. время выдержки следует увеличивать на 10–15 мин. Замедление скорости охлаждения в процессе закалки в интервале температур 900–700 °С приводит к выпадению по границам аустенитных зёрен карбидной фазы, что резко уменьшает пластичность, ударную вязкость и коррозионную стойкость стали.

Поэтому детали при закалке необходимо охлаждать в воде с возможным подстуживанием на воздухе, в течение не более 1,0–1,5 мин., во время переноса из печи в закалочную ванну. Возникшая при закалке небольшая деформация деталей легко исправляется правкой методом статического нагружения.

Применение высокой температуры нагрева при закалке вызывает необходимость применения защиты поверхности деталей от образования окалины, обезуглероживания поверхностного слоя металла и потери легирующих элементов на поверхности металла. Такие отрицательные процессы вызывают необходимость принятия защитных мер, предотвращающих или снижающих высокотемпературное взаимодействие сплавов с кислородом. К таким мерам относится создание защитной газовой атмосферы в печном пространстве и проведение термической обработки в атмосфере защитного генеративного газа (N<sub>x</sub>-газа) или в атмосфере смеси генеративного и природного газа.

В данной работе для стали ВНС-5 наиболее рационально использование защитной обмазки состоящей из стеклопорошка, шамотной глины и талька. Тальк служит для устранения хрупкости, возникающей после обсушивания изделия с нанесённой обмазкой. Данная обмазка позволяет защитить изделие от окисления, обезуглероживания и потери легирующих элементов.

На поверхности отожженных деталей, находящихся в структурно неоднородном и коррозионно не устойчивом состоянии, при длительном хранении в условиях, не обеспечивающих защиты от попадания влаги, происходит медленное коррозионное разрушение поверхности. Начинается оно с участков скопления карбидных включений на поверхности деталей.

Такие разрыхленные очаги в металле, взаимодействуя с эмалью, разрушают ее и, интенсивно увеличиваясь в размерах, дают поверхностные раковины и язвы при нагреве под закалку. При этом на поверхности термически обработанных деталей видны неглубокие, точечные или размытые углубления.

Для исключения образования на поверхности дефектов типа раковин и язв при хранении деталей в отожженном состоянии должно быть исключено попадание влаги или контакт с влажной атмосферой. С этой целью в помещениях, предназначенных для длительного хранения сталей, содержащих неравновесные фазы, размещают абсорбирующие материалы, впитывающие влагу. Ещё более надёжным и дорогостоящим решением может быть использование воздухоосушительных аппаратов [1].

По представленным выше результатам исследования установлено, что оптимальной температурой закалки с последующей обработкой холодом и отпуском является  $1070\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при которой значения ударной вязкости и предела прочности достигают наиболее высоких значений:  $\sigma_B = 1580\text{ МПа}$ ,  $KCU=12,5\text{ МДж/м}^2$ . На рисунке 5 представлена фотография микроструктуры стали 13X15H4AM3, полученная после выбранного, оптимального режима термообработки.

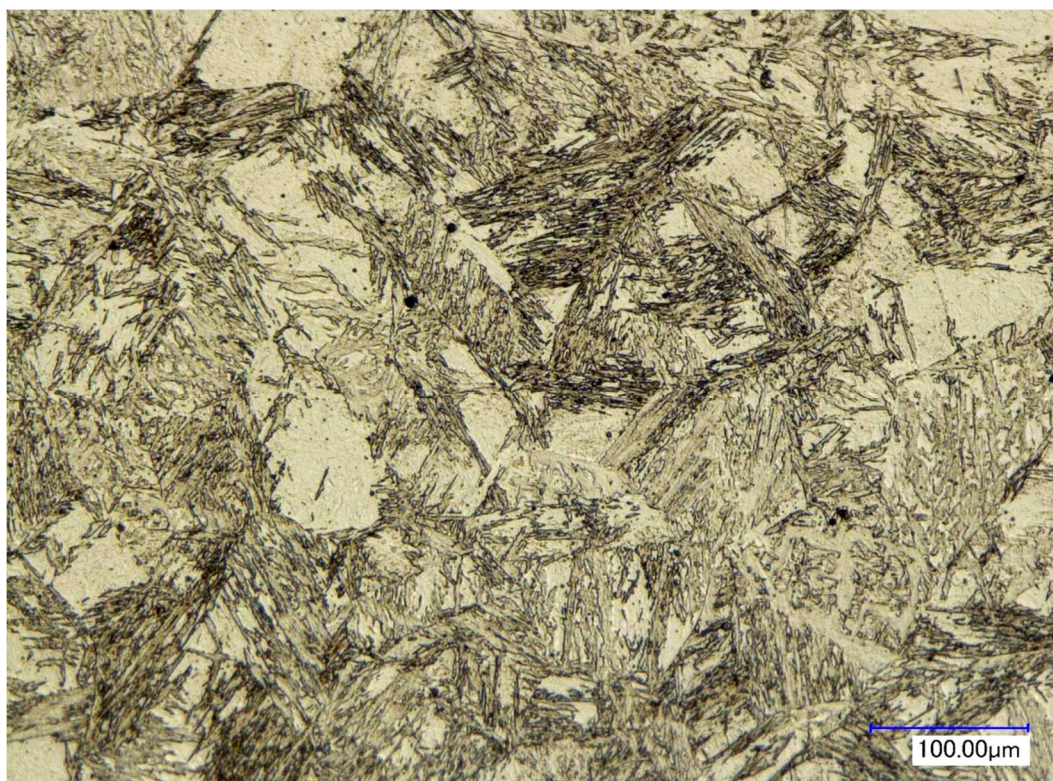


Рис. 5. Микроструктура стали 13X15H4AM3 после термообработки по режиму:  
Закалка с  $1070\text{ }^{\circ}\text{C}$ , обработка холодом 4 ч. при  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  и отпуск 1 ч. при  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
Увеличение  $\times 200$

Выводы:

1. Наилучшее сочетание механических свойств стали 13X15H4AM3:  $\sigma_B = 1580$  МПа,  $KCU=12,5$  МДж/м<sup>2</sup>, было достигнуто при термической обработке по режиму: закалка с температуры  $1070 \pm 10$  °С с последующей обработкой холодом 4 ч. при  $-70$  °С и отпуском 1 ч. при  $350$  °С.

2. С помощью микроанализа в стали ВНС-5 были выявлены следующие фазы: Мартенсит, количество которого достигает 75 ... 80 %, что было определено методом сравнения с эталоном микроструктуры стали 13X15H4AM3, остаточный аустенит в количестве 15–20 %. Мартенсит обеспечивает в стали высокую прочность, а остаточный аустенит придаёт пластичность.

### Список литературы

1. Братухин А.Г., Гурвич Л.Я. Коррозионная стойкость высокопрочных нержавеющей сталей. – М.: Авиатехинформ, 1999. – 208 с.
2. Гаврилов Г. Н. Особенности термической обработки стали 13X15H4AM3 / Г. Н. Гаврилов, Строганов Г. Б., Григорьев В. М., Братухин А. Г., Плакидин А. Д. // Митом. – 1972. – № 7. – С. 66-67.
3. Григорьев В. Н. Структурно технологические особенности высокопрочной стали ВНС5 / В. Н. Григорьев, А. Г. Братухин, Г. Н. Гаврилов // Авиационная промышленность. – 1968. – № 8. – С. 68-71.
4. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах: ГОСТ 9454– 78. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 12 с.
5. Методы испытаний на растяжение; ГОСТ 1497– 84. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 28 с.
6. Потак Я.М. Высокопрочные стали. – М.: Металлургия, 1972. – 208 с.

### Рецензенты:

Пачурин Г.В., д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Производственная безопасность и экология», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород.

Михаленко М.Г., д.т.н., профессор, директор «Института физико-химических технологий и материаловедения», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород.