

МАШИНА КУРУУ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

MECHANICAL ENGINEERING

УДК 669.14.018: 621.785

**ТЕЗ КЕСҮҮЧҮ БОЛОТТОРДУ ТЕПКИЧТҮҮ
ЧЫҢАЛОДОГУ ФАЗАЛЫК ӨЗГӨРҮҮЛӨР**

**ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ СТУПЕНЧАТОЙ
ЗАКАЛКЕ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ**

**PHASE CHANGES DURING STEP HARDENING OF
HIGH-SPEED STEELS**

Б. М. Маматкадырова, Б. М. Жолдошов, С. А. Капаров
B. M. Mamatkadyrova, B. M. Zholdoshov, S. A. Kaparov

Бул иште температуранын жана чыдоо убактысынын калдык аустениттин пайызына тийгизген таасирин, ошондой эле тепкичтүү чыңалоо тез кесүүчү болоттон жасалган буюмдардын касиеттерине кандай таасир этээрин көрсөтөт. Тажрыйбада көптөгөн өнөр жай ишканаларында тез кесүүчү болотторду көп тепкичтүү чыңалоотунун ыкмалары $T=600-675^{\circ}\text{C}$ -та жүргүзүлөт. Бул илимий макалада Р6М5К4 тез кесүүчү болоттон жасалган диаметри 15 мм жана узундугу 16 мм болгон үлгүлөр изилденген. Кезектеги чыңоо жана катуулоо процесстеринен кийин фазалык курамы жана микроструктуралык компоненттери изилденди, катуулуугу Роквелл ыкмасы менен өлчөнөт жана ысыкка туруктуулугу 610, 630 жана 650 °С жогорулаган температурада 4 саат кармап туруу менен текшерилди.

В работе показано влияние температуры и времени выдержки на процентное количество остаточного аустенита, а также, как воздействует ступенчатая закалка на комплекс свойств изделий из быстрорежущих сталей. Во многих на практике промышленных предприятий методы высокоступенчатой закалки быстрорежущих сталей проводят при $T=600-675^{\circ}\text{C}$. Исследованы образцы диаметром 15 и длиной 16 мм из быстрорежущей стали Р6М5К4. После проведенных последовательных отпусков и процессов закалки изучены фазовый состав и микроструктурные составляющие, измерены твердости по методу Роквелла и испытана

красностойкость при повышении значений температуры 610, 630 и 65 °C и временем выдержки 4 ч.

The work shows the effect of temperature and holding time on the percentage of retained austenite, as well as how stepped hardening affects the properties of high-speed steel products. In practice, in many industrial enterprises, the methods of high-step hardening of high-speed steels are carried out at $T = 600-675$ °C. In this scientific article, specimens with a diameter of 15 and a length of 16 mm made of R6M5K4 high-speed steel were studied. After successive tempering and hardening processes, the phase composition and microstructural components were studied, the hardness was measured by the Rockwell method, and the red hardness was tested with increasing temperatures of 610, 630 and 650 °C with holding times of 4 hours.

Түйүн сөздөр: тез кесүүчү болоттор, термикалык иштетүү, тепкичтүү чыңоо, чыдоо, ысыкка туруктуулук, дисперсиялык карбид, жылытуу, шарттамдар, калдык аустенит.

Ключевые слова: быстрорежущие стали, термообработка, ступенчатая закалка, выдержка, красностойкость, дисперсионный карбид, нагрев, режимы, остаточный аустенит.

Keywords: high-speed steels, heat treatment, stepped hardening, holding, red hardness, dispersion carbide, heating, modes, retained austenite.

Целью работы является поиск и разработка научных основ и технологии форсированной термической обработки инструментальных сталей, а именно быстрорежущих сталей, для того чтобы получить повышение комплекса свойств, сокращения продолжительности проведения термической обработки и снижения энергетических затрат.

Для реализации цели путем проведения комплексных исследований были поставлены следующие задачи:

– обобщение и систематизация имеющихся в литературе сведений об особенностях форсированной термической обработки инструментальных сталей, и на этой основе обоснование возможности ее совершенствования;

– разработка научных основ совершенствования и целесообразности предварительной подготовки структур сталей путем форсированных охлаждений их температур в конце промежуточных обработок и оптимизация параметров при последующей обработке;

– проведение последовательных отпусков и процессов закалки для Р6М5К4, а также изучение фазовых составов и микроструктурных составляющих исследуемой быстрорежущей стали;

– исследование разработанных технологий и режимов обработки инструментальных сталей в условиях промышленного производства;

– исследование физических процессов и механизмов при формировании структур в предлагаемой технологии.

На практике на многих промышленных предприятиях методы высокоступенчатой закалки быстрорежущих сталей проводят при $T = 600 - 675 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Если сравнить вышеуказанный метод со ступенчатой обычной закалкой при $T = 410 - 560 \text{ } ^\circ\text{C}$, закалка высокоступенчатая уменьшает деформацию, а также повышает эксплуатационные и механические свойства. Основные причины таких влияний высокоступенчатой закалки на надежность и качество инструментов до конца досконально не выяснены [1,2]. В научных трудах по исследованию изотермически-ступенчатой закалки стали P12[3-5] было установлено, что при $T = 610 - 680 \text{ } ^\circ\text{C}$ происходил частичный распад переохлажденного аустенита с выделением частиц карбидов. Для указанной стали оптимальным вариантом предложена температура ступеньки $625 \text{ } ^\circ\text{C}$, а время выдержки 12–20 мин. Однако в этих научных исследованиях последовательность, тип дисперсных карбидов и характер карбидных превращений не изучены.

В настоящей научной работе исследованы образцы диаметром 15 и длиной 16 мм из быстрорежущей стали Р6М5К4. Изготовленные образцы подогревали до температур $860 \text{ } ^\circ\text{C}$, нагрев проводили в соляной ванне ($6\% \text{ MgF}_2 + 94\% \text{ BaCl}_2$) при температуре $1240 \text{ } ^\circ\text{C}$ 3,5 мин, далее охлаждали в смеси солей ($30\% \text{ BaCl}_2 + 49\% \text{ CaCl}_2 + 21\% \text{ NaCl}$) при $560 - 660 \text{ } ^\circ\text{C}$ в течение 3,5, 15 и 20 мин. После завершения изотермической выдержки часть изделий охлаждена на воздухе и часть в среде масла ($\sim 45 \text{ } ^\circ\text{C}$), и чтобы сравнить, проведена непрерывная закалка в масле. Образцы закаленные подвержены трехкратному отпуску при температуре $T = 560 \text{ } ^\circ\text{C}$, и выдержка составляла 1 ч.

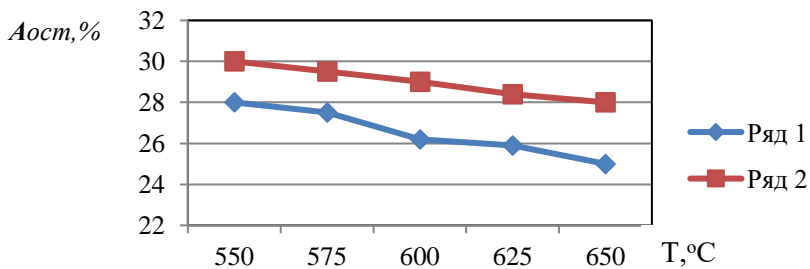
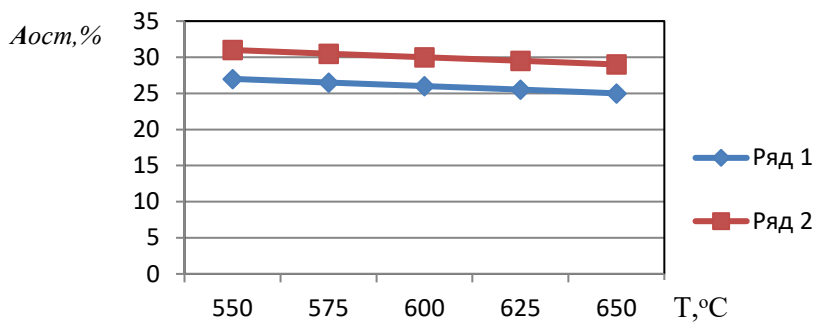
После процессов закалки и последовательных отпусков изучены фазовый состав и микроструктурные составляющие, измерены твердости по методу Роквелла, и испытана красностойкость при повышении значений температуры 610, 630 и 650 °С и времени выдержки 4 ч.

Сняты дифракционные картины фазовых составляющих в интервалах 17 – 76 °С. Количественные данные карбидных фаз судили на основании интенсивности дифракционных максимумов совпадающих линий M_3C , M_7C_3 , M_6C , MC , M_2C . Определено количество остаточного аустенита с вероятной точностью $\pm 1,5$.

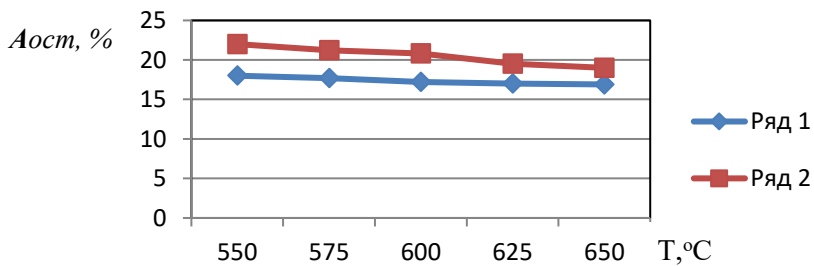
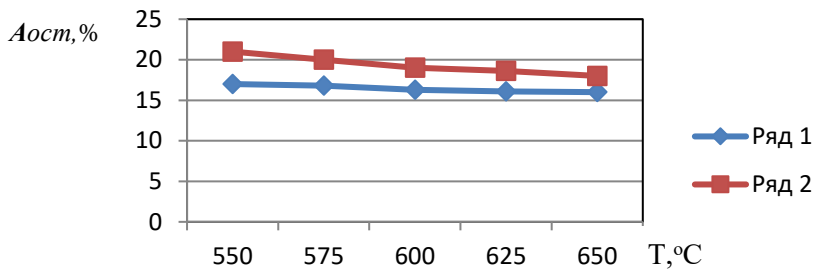
Температурное повышение ступени до температуры до 650 °С и время изотермической выдержки до 20 мин усиливает травимость границ зерен и намного увеличивает количество «точечных» дисперсных карбидов размером с 0,1 до 0,4 – 0,6 мкм. Указанные карбиды расположены преимущественно во внутренних зернах, и часть из них при тепловом травлении окрашивается в розовый цвет, как карбиды ванадия.

Показано на рисунке 1 температурное влияние и время изотермической выдержки на количество аустенита остаточного после процессов закалки и отпуска. Повышение температуры ступени от 530 до 650 °С и времени выдержки от 4 до 20 мин в связи с выделением карбида типа M_2C количество остаточного аустенита в закаленной стали уменьшается на 3 – 6 %. Карбид типа M_3C преимущественно ясно выявляется на дифрактограммических картинах по линиям максимальной (021, 103) и средней интенсивности (122) и (121).

После анализа дифрактограмм становится яснее, что после процесса охлаждения от температуры ступени 560 °С количество карбида типа M_3C с увеличением времени выдержки от 4 до 15 мин повышается и при времени выдержки от 4 до 20 мин несколько снижается. Концентрационное изменение количества карбида M_3C сопровождается образованием специальных карбидов MC , $M_7C_3(VC)$ и видимому $M_2C (Mo, W)_2C$.



а



б

Рисунок 1 – Влияние температуры изотермической выдержки на количество остаточного аустенита после закалки (а) и первого отпуска (б): ряд 1: выдержка 5 мин; ряд 2: выдержка 20 мин; сплошные линии – охлаждение после изотермической выдержки в масле; штриховые линии – на воздухе

Карбид типа M_7C_3 проиндицирован на дифрактограммах по 4–5 линиям, включая характерные для этого карбида линии (112) с межплоскостным расстоянием $d=2,14 \text{ \AA}$. Выделение карбида типа M_2C только можно предположить, так как его наиболее интенсивная линия (102) с межплоскостным расстоянием $d=2,26 \text{ \AA}$ дает слабый дифракционный максимум. Скорее всего, количество карбида типа M_2C незначительно, и его выделения чрезвычайно дисперсны.

Образованные дефекты кристаллического строения состаренного переохлажденного аустенита передаются мартенситу. Увеличение уширения или постоянство ширины линии, невзирая на обеднение твердого раствора углеродом и уменьшение микроискажений, доказывает об измельчении блоков мозаики твердого раствора.

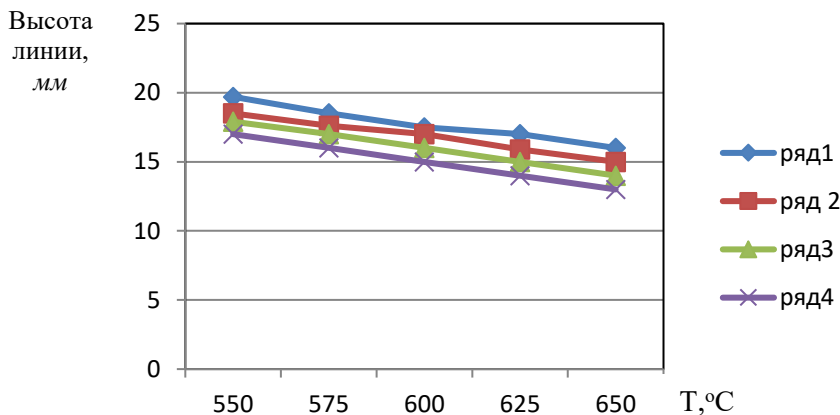
После проведения отпуска при температуре 560°C и 1 ч количество остаточного аустенита уменьшается тем больше, чем выше становится температура ступени и длительность времени выдержки (рисунок 1, б).

После второго отпуска при температуре 560°C и 1 ч количество остаточного аустенита уменьшается до 10–12 %, а также на некоторых дифрактограммах очень ясно регистрируется выделение карбида типа M_2C . Максимальное количество M_2C устанавливается по линии (101) этого карбида и более слабое (021) и др., идет выделение после процесса отпуска образцов, закаленных после проведения изотермической выдержки при температуре 650°C . В этот момент наблюдается выделение M_3C (рис. 2), количество которого в структуре всех упомянутых образцов после второго отпуска уменьшается.

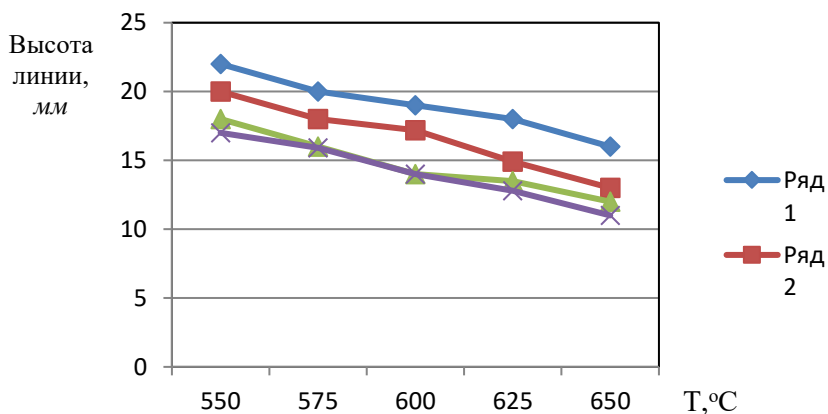
Достижение максимальной вторичной твердости (HRC_{64-66}) после проведения третьего отпуска при 560°C и 1 ч.

Исследования обосновали и выявили некоторое повышение красностойкости быстрорежущей стали (на $4-6^\circ\text{C}$) при изотермической выдержке от температуры 610°C . На основе полученных экспериментальных данных можно установить наиболее эффективные варианты высокоступенчатой закалки быстрорежущей стали Р6М5К4, обеспечивающей красностойкость ($\geq HRC_{57}$):

- ступень при температуре $610\text{ }^{\circ}\text{C}$, время выдержки от 5 мин до 20 мин, образцы охлаждаются в масле;
- ступень при температуре $630\text{ }^{\circ}\text{C}$, время выдержки от 5 мин до 15 мин, образцы охлаждаются на воздухе или в масле;
- ступень при температуре $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, время выдержки 10 мин, образцы охлаждаются на воздухе или в масле.



а



б

Рисунок 2 – Влияние температуры изотермической выдержки на относительное количество карбида M_3C в структуре после охлаждения в масле (а) и на воздухе (б):

ряд 1 – выдержка 5 мин; ряд 2 – выдержка 10 мин; ряд 3 – выдержка 15 мин; ряд 4 – выдержка 20 мин

Заключение

Для того чтобы получить вторичную максимальную твердость и красностойкость, время выдержки при процессе высокоступенчатой закалки на воздухе должно составить:

- при температуре $610\text{ }^{\circ}\text{C}$ в пределах 5–10 мин;
- при температуре $630\text{ }^{\circ}\text{C}$ в пределах 5–15 мин;
- при температуре $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 10 мин.

Литература

1. Смольников Е.А., Горбацевич Ю.А. Высоко ступенчатая закалка быстрорежущей стали // МиТОМ. – 1992.–№ 2. – С. 12– 15.
2. Горбацевич Ю.А. Смольников Е.А., Маркина В.А. Влияние высокоступенчатой закалки на свойства быстрорежущей стали // МиТОМ. –1992. – №11. – С. 57–59.
3. Гуляев А.П. Свойства и термическая обработка быстрорежущей стали. –М.: Машгиз, 1979.–С. 73.
4. Капаров С.А., Жолдошов Б.М., Маматкадырова Б.М. Влияние режимов термоциклической обработки на свойства стали ШХ15. Машиноведение, № 1 (13). –Бишкек: Изд-во ИМА, 2021. – С.43–51.
5. Маматкадырова Б. М., Жолдошов Б. М., Капаров С.А. Фазовое превращение в быстрорежущих сталях. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 12. – Бишкек, 2020. – С. 17– 21.