



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-76-79>  
УДК 621.78

Поступила 24.09.2024  
Received 24.09.2024

## ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

Д. М. БЕРДИЕВ, Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова,  
г. Ташкент, Узбекистан, ул. Университетская, 2. E-mail: berdiyev\_mf@mail.ru

*Разработан режим термической обработки инструментальных сталей закалкой с промежуточным отпуском, повышающий стойкость штампового инструмента высокой точности в 1,5–2,0 раза по сравнению со стандартной термообработкой. При нагреве под закалку до температуры выше 1150 °С происходят интенсивное растворение вторичных карбидов, рост аустенитного зерна, резкое увеличение остаточного аустенита. Наиболее приемлемым оказался промежуточный отпуск при 600 °С, не приводящий к существенному увеличению аустенитного зерна с ростом температуры первой закалки, образующий структуру мелко- и среднеигльчатого мартенсита и некоторое количество остаточного аустенита.*

**Ключевые слова.** Закалка, твердость, плотность дислокаций, промежуточный отпуск, высоколегированная сталь.

**Для цитирования.** Бердиев, Д. М. Технология термической обработки для повышения износостойкости штампового инструмента высокой точности / Д. М. Бердиев // *Литье и металлургия*. 2024. № 4. С. 76–79. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-76-79>.

## HEAT TREATMENT TECHNOLOGY FOR IMPROVING WEAR RESISTANCE OF HIGH-PRECISION DIE TOOLS

D. M. BERDIEV, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,  
Tashkent, Uzbekistan, 2, Universitetskaya str. E-mail: berdiyev\_mf@mail.ru

*A heat treatment process involving hardening with intermediate tempering has been developed to enhance the wear resistance of high-precision die tools by 1.5–2 times compared to standard heat treatments. When heating for hardening above 1150 °C, secondary carbides dissolve intensively, austenite grain growth occurs, and there is a marked increase in retained austenite. The most suitable approach proved to be intermediate tempering at 600 °C, which avoids significant austenite grain growth with increasing initial hardening temperature, resulting in a fine to medium needle-like martensitic structure with some residual austenite.*

**Keywords.** Hardening, hardness, dislocation density, intermediate tempering, high-alloy steel.

**For citation.** Berdiev D. M. Heat treatment technology for improving wear resistance of high-precision die tools. *Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 4, pp. 76–79. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-76-79>.

При изготовлении штампов холодной штамповки используют широкий круг углеродистых и легированных инструментальных сталей [1].

На предприятии АО «FOTON» активно применяют пробивной и формообразующий штамповый инструмент. Материал заготовки – высокопластичные металлы, такие, как медь, никель, ферроникель, ковар и сталь Ст3.

Высокие пластичность материала заготовки, точность изготавливаемых изделий, производительность предполагают достаточно малые зазоры пуансона и матрицы. Вместе с тем основными требованиями являются высокая износостойкость и повышенная теплостойкость, поскольку происходит нагрев инструмента [2].

На заводе используют широкий круг инструментальных сталей: 9ХС, ХВГ, Х12М, ШХ15, У10. Однако стойкость инструмента не является достаточной. Требования в данном случае противоречивы. С целью повышения износостойкости необходимо дальнейшее увеличение твердости, но достаточно частые случаи поломки инструмента предполагают повышение вязкости. Поэтому для инструмента, не имеющего тонких сечений, можно рекомендовать повышение твердости на 1–2 ед. HRC, для инструмента тонкого сечения изменение данного параметра не рекомендуется [3].

Рассматривая существующие способы улучшения служебных свойств штампового инструмента холодного деформирования (химико-термическую обработку, напыление твердыми сплавами, двойную закалку, обработку лазером), следует предпочесть метод закалки с промежуточным отпуском. Он экономически наиболее целесообразен, позволяет уменьшить карбидную неоднородность стали, если таковая имеется, и, следовательно, улучшить вязкость стали, увеличить пределы текучести и износостойкости, не требует установки нестандартного оборудования [1, 2].

Многочисленные исследования показали прямую зависимость стойкости инструмента от структурных параметров – характера и распределения карбидной фазы, количества остаточного аустенита, состояния тонкой структуры матрицы [4–7].

Выбор оптимальных режимов упрочнения штампового инструмента проводили на основе исследования характера разрушения инструмента, микроскопического анализа структуры, рентгеноструктурных исследований.

### Материалы и методика исследования

Испытания на износостойкость осуществляли на натуральных изделиях в производственных условиях объединения АО «FOTON». Исследовали образцы и натурные изделия из стали X12M. Каждую серию опытов проводили на образцах одной плавки стали размерами: диаметр – 25 мм, высота – 10 мм.

Образцы стали проходили термическую обработку с нагревом в соляных ваннах. Первую закалку проводили с температур  $T_{з1} = 1050, 1100, 1150, 1250, 1300$  °С. При этом преследовали цель – в максимальной степени устранить неоднородность по карбиду [7]. Затем реализовали промежуточный отпуск при температурах  $T_{п.от} = 540, 600, 650$  °С, а часть образцов взяли без отпуска.

Металлографический анализ выполняли на ионном хроматографе Metrohm 850 Professional IC (SEM-EDX) и растровом электронном микроскопе Zeiss EVO MA 10 [8]. Структуру стали изучали с помощью спектрального рентгеновского анализатора Shimadzu [9]. Для получения рентгенограмм использовали излучение железного анода. Ширину рентгеновских линий определяли по графикам, скорректированным аппроксимацией.

### Результаты и их обсуждение

Исследования показали, что с увеличением температуры нагрева под закалку твердость растет до 1100 °С, затем резко падает с повышением температуры закалки (рис. 1). Это следует объяснить увеличением растворения легирующих элементов в аустените, что приводит к получению после закалки большого количества остаточного аустенита. Последующий отпуск при температуре 540 °С и выше дает повышение твердости (вторичная твердость), но она ниже, чем после закалки на первичную твердость.

Микроанализ показал, что после закалки с 1050–1100 °С в структуре остается много вторичных карбидов, имеется также первичная карбидная неоднородность в виде строчки. Основная структура – весьма мелкоигольчатый мартенсит и остаточный аустенит [10, 11].

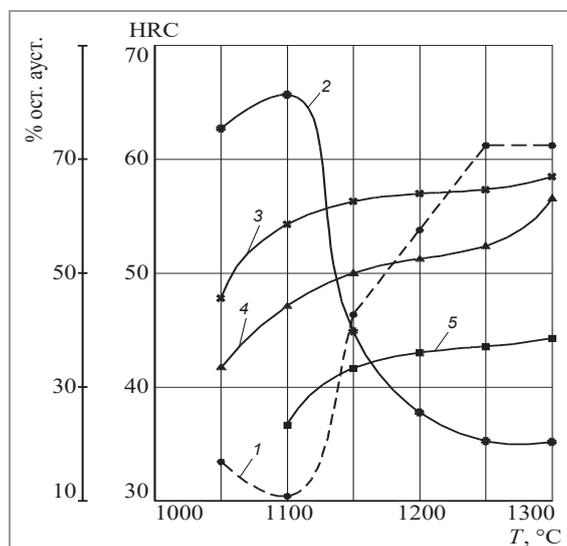


Рис. 1. Изменение твердости и процентное содержание остаточного аустенита (1) в стали X12M в зависимости от температуры  $T$  закалки без отпуска (2) и при  $T_{п.от} = 540$  °С (3); 600 (4); 650 °С (5)

При нагреве под закалку до температуры выше 1150 °С происходят интенсивное растворение вторичных карбидов, рост аустенитного зерна, резкое увеличение остаточного аустенита. После отпуска с 540 °С наблюдалось уменьшение в структуре остаточного аустенита, однако одновременно появлялись участки троостита.

Отпуск с температуры 600 °С приводит к более полному распаду твердого раствора с образованием трооститной структуры. Закалка с 1300 °С приводит после отпуска с 600 °С к сохранению части мартенситной структуры. Это свидетельствует о значительной легированности твердого раствора при столь высоких температурах нагрева.

Если первая закалка проводится с целью максимального перевода в твердый раствор легирующих элементов и примесных фаз для получения максимальной плотности дислокаций, то промежуточный отпуск и вторая закалка осуществляются для измельчения зерна аустенита при сохранении высокой плотности дислокаций.

Вторую закалку проводили со стандартной для стали X12M температуры нагрева 1150 °С. Наблюдая изменение аустенитного зерна в зависимости от температуры первой закалки, можно обнаружить рост зерна, если первая закалка была проведена с 1300 °С.

При промежуточном отпуске при 540 °С первая закалка при температуре свыше 1150 °С приводит к получению более легированного твердого раствора с образованием значительного количества остаточного аустенита.

Наиболее приемлемым оказался промежуточный отпуск при 600 °С, не приводящий к существенному увеличению аустенитного зерна с ростом температуры первой закалки, образующий структуру мелко- и среднеигльчатого мартенсита и некоторое количество остаточного аустенита. Наибольшую твердость показали образцы после первой закалки при 1100 °С [12].

На основании результатов вышеприведенных исследований и производственных испытаний можно рекомендовать следующие режимы термической обработки штампового инструмента холодной штамповки высокой точности [12, 13] для инструмента из стали X12M:

- нагрев в соляных ваннах до  $T_{31} = 1150$  °С, охлаждение в масле;
- промежуточный отпуск при  $T_{п.от} = 660$  °С в течение 1 ч;
- нагрев в соляных ваннах до  $T_{32} = 1050$  °С, закалка в масле.

Стойкость обработанных в стандартном режиме (по результатам АО «FOTON») штампов составила 25–36 тыс. штамповок. Стойкость просечного инструмента, обработанного закалкой с промежуточным отпуском, составила 34–42 тыс. штамповок для матрицы твердостью 60–62 HRC и 30–36 тыс. штамповок для матрицы твердостью 58–60 HRC.

### Выводы

1. Первая высокотемпературная закалка в условиях ускоренного нагрева в соляной ванне приводит к образованию максимума дефектности кристаллического строения.
2. Промежуточный отпуск ведет к выделению примесных фаз, также способствуя термической устойчивости дислокаций.
3. Стойкость инструмента из инструментальных сталей, обработанных закалкой с промежуточным отпуском, в 1,5–2,0 раза выше стойкости сталей, прошедших стандартную термообработку.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Околович, Г.А.** Штамповые стали для холодного деформирования металлов / Г.А. Околович.– Барнаул: АлтГТУ, 2010.– 202 с.
2. **Брыков, М.Н.** Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании / М.Н. Брыков, В.Г. Ефременко, А.В. Ефременко.– Херсон: Гринь Д.С., 2014.– 364 с.
3. **Гольдштейн, М.И.** Специальные стали / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векелер.– М.: МИСиС, 1999.– 408 с.
4. **Mukhamedov, A.A.** The influence of the thermal history on the structure and properties of steel / A.A. Mukhamedov // The physics of metals and metallography.– 1992.– Vol. 74, no. 5.– P. 482–487.
5. Структурная наследственность в низкоуглеродистых мартенситных сталях / С.С. Югай [и др.] // *Металловедение и термическая обработка металлов.*– 2004.– № 12.– С. 24–29.
6. **Dyuchenko, S.S.** Heredity in phase transformation: mechanism of the phenomenon and effect on the properties / S. S. Dyuchenko // *Metall science and heat treatment.*– 2000.– Vol. 42, no. 3–4.– P. 122–126.
7. **Бердиев, Д.М.** Увеличение стойкости штампов холодной штамповки методом закалки с промежуточным отпуском / Д.М. Бердиев, А.А. Юсупов, Р.К. Тошматов // *Вестник машиностроения.*– 2022.– № 7.– С. 61–64.
8. **Батаев, В.А.** Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей / В.А. Батаев, А.А. Батаев, А.П. Алхимов.– М.: Наука, 2007.– 224 с.

9. Горелик, С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – М.: МИСиС, 1994. – 328 с.
10. Berdiyev, D. Increasing the abrasive wear resistance of steels by heat treatment with preliminary preparation of the structure / D. Berdiyev, B. Saydumarov, N. Makhmudova // International conference on reliable systems engineering (ICoRSE) – 2021. – 2022. – Vol. 305. – P. 162–170.
11. Бердиев, Д. М. Повышение износостойкости стальных изделий методом нестандартных режимов термической обработки / Д. М. Бердиев, А. А. Юсупов // Литье и металлургия. – 2021. – № 2. – С. 100–104.
12. Berdiev, D.M. Increasing die durability in cold stamping by quenching with intermediate tempering / D.M. Berdiev, A. A. Yusupov, R. K. Tashmatov // Russian Engineering Research. – 2022. – Vol. 42, no. 10. – P. 1011–1013.
13. Бердиев, Д. М. Повышение стойкости штампов холодной штамповки закалкой с промежуточным отпуском / Д. М. Бердиев, Р. К. Тошматов, А. Х. Абдуллаев // Литье и металлургия. – 2022. – № 3. – С. 91–93.

## REFERENCES

1. Okolovich G.A. *Shtampovye stali dlya holodnogo deformirovaniya metallov: monogr.* [Stamp steels for cold deformation of metals: monograph]. Barnaul, AltSTU Publ., 2010, 202 p.
2. Brykov M.N., Efremenko V.G., Efremenko A.V. *Iznosostojkost' stalej i chugunov pri abrazivnom iznashivanii* [Wear resistance of steels and cast irons during abrasive wear]. Kherson: Grin D.S. Publ., 2014, 364 p.
3. Goldshtein M.I., Grachev S.V., Wekeler Yu.G. *Special'nye stali* [Special steel]. Moscow, MISIS Publ., 1999, 408 p.
4. Mukhamedov A.A. The influence of the thermal history on the structure and properties of steel. *The physics of metals and metallography*, 1992, vol. 74, no. 5, pp. 482–487.
5. Yugai S.S., Kleiner L.M., Shotsev A.A., Mitrokhovich I.N. *Strukturnaya nasledstvennost' v nizkouglerodistykh martensitnykh stalyah* [Structural heredity in low-carbon martensitic steels]. *Metallovedenje i termicheskaya obrabotka metallow = Metal science and thermal processing of metals*, 2004, no. 12, pp. 24–29.
6. Dyuchenko S.S. Heredity in phase transformation: mechanism of the phenomenon and effect on the properties. *Metall science and heat treatment*, 2000, vol. 42, no. 3–4, pp. 122–126.
7. Berdiev D.M., Yusupov A.A., Toshmatov R.K. Uvelichenie stojkosti shtampov holodnoj shtampovki metodom zakalki s promezhtochnym otpuskom [Increasing the durability of cold stamping dies by hardening with intermediate tempering]. *Vestnik mashinostroeniya = Bulletin of mechanical engineering*, 2022, no. 7, pp. 61–64.
8. Bataev V.A., Bataev A.A., Alkhimov A.P. *Metody strukturnogo analiza materialov i kontrolya kachestva detalej* [Methods of structural analysis of materials and quality control of parts]. Moscow, Nauka Publ., 2007, 224 p.
9. Gorelik S.S., Skakov Yu. A., Rastorguev L. N. *Rentgenograficheskij i elektronno-opticheskij analiz* [X-ray and electron-optical analysis]. Moscow, MISIS Publ., 1994, 328 p.
10. Berdiyev D., Saydumarov B., Makhmudova N. Increasing the abrasive wear resistance of steels by heat treatment with preliminary preparation of the structure. *International conference on reliable systems engineering (ICoRSE) – 2021, 2022*, vol. 305, pp. 162–170.
11. Berdiev D.M., Yusupov A.A. Improving the wear resistance of steel products by using non-standard heat treatment modes. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 2, pp. 100–104.
12. Berdiev D.M., Yusupov A.A., Tashmatov R.K. Increasing die durability in cold stamping by quenching with intermediate tempering. *Russian Engineering Research*, 2022, vol. 42, no. 10, pp. 1011–1013.
13. Berdiev D.M., Toshmatov R.K., Abdullaev A.K. Increasing the durability of cold forging dies hardening with intermediate tempering. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 2, pp. 91–95.