

8. Шевцов, А.И. Исследования плакированных композиционных порошков для формирования износостойких плазменных покрытий [Текст] / А.И. Шевцов, В.А. Оковитый, В.А. Микуцкий, Т.А. Ильющенко, А.С. Козорез // Порошковая металлургия. – Минск: РУП "Издательский дом "Белорусская наука", 2007. – Вып. 30. – С. 264–269.
9. Ильющенко, А.Ф. Высокоэнергетическая обработка плазменных покрытий / А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, А.И. Шевцов. – Минск: Беспринт, 2007. – 246 с.

Материал поступил в редакцию 02.07.09

OKOVITYJ V.A., PANTELEENKO F.I., SHEVCOV A.I., DEVOYNO O.G., PANTELEENKO A.F., OKOVITYJ V.V. Updating plasma hard-wearing of coverings by the pulse laser

Plause is devoted to hardening of the put coverings with the help of a laser source.

For a basis is taken quasi-stationary the solid-state laser. The various experiments are carried out with the purpose of definition of optimum parameters of process of processing. The process of processing will be carried out in various environments, as a result of researches expedient use of nitrogen was revealed. Is investigated influences of density of capacity of a source on a degree melting of the put coverings. The estimation of a degree оплавления and condensation of coverings is carried out.

The process of processing of coverings from of materials of the plasma sources, put with the help is optimized. Investigated microstructure of coverings and them microhardness at various parameters of processing.

As a result of researches the technological parameters of process of processing by the laser of coverings put on a substrate by a plasma way are optimized. Is established, that the microstructure of coverings represents ceramic-metal a material.

УДК 621.762.001, 621.793.18

**Шматов А.А., Гурьев А.А., Лактюшина Т.В.,
Жилинский О.В., Марочкина С.И.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
УЛУЧШАЮЩЕЙ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ У8**

Введение. С давних времен самым простым и распространенным способом объемного упрочнения инструмента является термообработка. Это обусловлено тем, что процесс термообработки технологически и экономически эффективен, не требует значительных затрат на его внедрение. Среди различных способов термообработки прежде всего следует выделить метод «улучшающей термоциклической обработки» (УТЦО), который основан «на постоянном накоплении от цикла к циклу положительных изменений в структуре металлов» [1–5]. Если традиционная термообработка выполняется по одному варианту путем закалки и отпуска (рис. 1), то метод УТЦО имеет более 20 вариантов, которые отличаются от стандартной термообработки термоциклическим режимом (многократным повторением) и различной последовательностью выполнения операций закалки и отпуска. По структурным изменениям в сталях УТЦО может проходить с фазовыми или без фазовых превращений, с полными или неполными фазовыми превращениями при нагреве и охлаждении, с различными типами фазовых превращений: бездиффузионным (аустенита в мартенсит), диффузионным (аустенита в перлит) или комбинации этих типов. По температурно-временным параметрам УТЦО можно разделить на следующие виды: средне-, высоко- или низкотемпературный процесс, процесс с изотермической или без изотермической выдержки при нагреве и охлаждении (или маятниковый способ) и другие. Основными структурными изменениями при УТЦО является сильное измельчение зерна и блоков мозаики, увеличение плотности дислокаций, уменьшение размера карбидов, однородное распределение химических элементов в структуре, повышение однородности и степени легирования твердого раствора, снижение степени тетрагональности мартенсита и др. Эти позитивные структурные изменения существенно улучшают эксплуатационные свойства инструмента. В частности, УТЦО повышает вязкость, прочность (при изгибе и растяжении), твердость, теплостойкость,

контактную выносливость, изотропность свойств и износостойкость сталей, уменьшает деформацию и опасность закалочных микротрещин по сравнению с традиционной термообработкой [1–7].

Из приведенного анализа следует, что процесс УТЦО имеет большие перспективы для своего развития, прежде всего для инструмента, имеющего малый ресурс работы. Особое внимание в этом аспекте следует уделить высокоуглеродистым нелегированным сталям (У8, У10, У12 и др.), которые, благодаря их невысокой стоимости, широко используются для изготовления различного инструмента. На практике остро стоит вопрос повышения стойкости мелко-размерного, длинномерного и тонкого ударно-штампового инструмента, изготовленного из упомянутых высокоуглеродистых сталей, поскольку традиционная термообработка не может обеспечить инструменту оптимальное сочетание и высокие показатели взаимно противоположных свойств: вязкости, с одной стороны, и прочности и твердости, с другой стороны. Такой традиционно закаленный инструмент обычно имеет малый ресурс работы, а именно – повышая твердость и прочность стали, ее вязкость снижается настолько, что ударно-штамповый инструмент быстро ломается; а при значительном повышении ударной вязкости, снижается твердость и прочность стали, что ведет к смятию режущей кромки инструмента. Решить указанную проблему можно применив УТЦО, которая позволяет одновременно повышать взаимно противоположные механические свойства стали. Причем сами высокоуглеродистые нелегированные стали в области термоциклической термообработки пока остаются менее изученными перед остальными инструментальными сталями.

Неоценимую помощь исследователю при трудоемком выборе оптимального варианта проведения процесса УТЦО высокоуглеродистой стали могут оказать математические методы планирования экспериментов, которые позволяют получить максимум информации при минимуме затрат. В материаловедении традиционно решают

Шматов А.А., к.т.н., Белорусский национальный технический университет.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

Гурьев А.А., д.т.н., член-корреспондент СО АН ВШ, профессор Алтайского государственного технического университета, Барнаул, Россия.

Лактюшина Т.В., к.т.н., Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН РБ.

Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Бровки, 15.

Жилинский О.В., к.т.н., государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси».

Марочкина С.И., государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси».

Беларусь, ОИМ НАН Беларуси, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 12.

прямые задачи, когда на основании минимального количества экспериментов, проведенных по заранее заданным температурно-временным режимам (согласно плану экспериментов) определяют свойства материала, затем создают математические модели, описывающие влияние факторов и их взаимодействий, и с помощью графической интерпретации выбирают оптимальные параметры процесса [8]. Но этот подход не может решить всего комплекса вопросов, возникающих при проектировании технологии, поскольку функционирование любой технологической системы (в данном случае таковой является технология УТЦО стали У8) происходит в условиях постоянного случайного изменения значений параметров системы под влиянием различных внешних и внутренних дестабилизирующих факторов. Сами технологические системы, как объекты проектирования, обладают рядом специфических особенностей: многокритериальностью, многопараметричностью, стохастичностью (рассеивание параметров), наличием нелинейных внутрисистемных связей и т.д. При исследовании, проектировании и освоении таких объектов требуется решение не только прямых, но и обратных задач, когда исследователь заранее задает комплекс необходимых свойств материала, показателей качества технологии и с помощью компьютерного моделирования находит оптимальные температурно-временные параметры процесса. Такой методологический подход, получивший название многомерного проектного синтеза технологической системы, успешно применяется при разработке новых технологий и материалов [9–12].

В связи с вышеназванным, целью данной работы явилось исследование и компьютерное проектирование технологии УТЦО высокоуглеродистой стали У8 с применением наукоемких синтез-технологий метода многомерного проектного синтеза технических объектов, материалов и технологий.

Объекты и методика исследований. В настоящей работе был изучен процесс УТЦО стали У8, который, согласно опубликованным данным [1–7], является наиболее эффективным. Выбранный процесс УТЦО включает многократный нагрев и охлаждение стали выше и ниже критической точки A_1 с окончательным закалочным охлаждением на последнем цикле и последующим традиционным отпуском (рис. 2).



Рис. 1. Диаграмма традиционной термической обработки стали У8

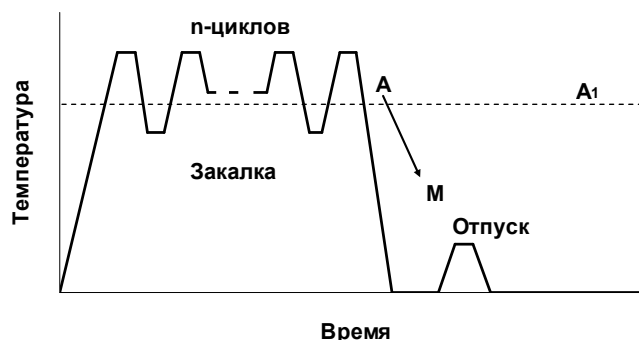


Рис. 2. Диаграмма УТЦО стали У8, включающая термоциклирование выше и ниже критической точки A_1 с закалочным охлаждением на последнем цикле и отпуск

Процесс УТЦО изучали на высокоуглеродистой стали У8 (0,8% С), которая наряду с другими высокоуглеродистыми нелегированными сталями широко используется на практике.

При исследовании процесса УТЦО варьировали температуру, время нагрева и охлаждения, а также число циклов. Причем во всех циклах при УТЦО время нагрева и охлаждения, а также максимальная (при нагреве) и минимальная (при охлаждении) температуры были постоянными. Максимальную температуру термоцикла при УТЦО варьировали вблизи температуры нагрева стали У8 под закалку, не превышая 810°C , а минимальную температуру термоцикла не снижали ниже 220°C . Процесс термоциклирования стали У8 осуществляли в двух печах следующим образом: сначала образцы загружали в печь с максимальной температурой, выдерживали необходимое время в этой печи и переносили в печь с минимальной температурой, выдерживали в ней необходимое время, затем такой процесс повторяли. С последнего цикла нагрева образцы закачивали и отпускали. Для термоциклического нагрева под закалку и последующего отпуска использовали стандартные электрические печи с окислительной атмосферой, закалочное охлаждение образцов осуществляли в 5–10% водном растворе NaOH. После закалки проводили отпуск (при 200°C в течение 2 ч.), как обычно делают для ударно-штампового инструмента.

Сравнительные испытания механических свойств быстрорежущих сталей после УТЦО и стандартной термообработки проводили на специальных образцах: для определения ударной вязкости использовали образцы размером $10 \times 10 \times 55$ мм без надреза, для определения прочности на изгиб применяли образцы размером $5 \times 10 \times 55$ мм; определение твердости по Роквеллу осуществляли на поверхности вышеупомянутых образцов.

При проектировании процесса УТЦО стали У8 и оптимизации его температурно-временных параметров по указанным выше свойствам стали У8 применяли синтез-технологии метода многомерного проектного синтеза технологических объектов, материалов и технологий в виде базовой компьютерной программы - СИНТЕЗ МК [9]. Предлагаемый метод позволяет оперировать не только математическими, но и техническими критериями оптимальности. Для реализации процедур многомерного проектного синтеза технологической системы при проведении УТЦО стали У8 использован комплекс новых методов, наиболее значимыми из которых являются: метод решения обратных многокритериальных задач, метод компьютерного выбора технически оптимального варианта, метод выделения областей устойчивости исследуемой технологической системы в многомерном пространстве технологических параметров и метод построения графического изображения состояний технологической системы. Для решения обратной многокритериальной задачи разработан специальный алгоритм. Все процедуры многомерного синтеза системы выполняет компьютер. Исследователю необходимо поставить задачу проектирования в виде требований к уровню достигаемых свойств и выполнить эксперимент.

Метод многомерного проектного синтеза технологической системы, в отличие от известных методов [8], имеет более широкие возможности и позволяет:

- выбирать технически оптимальный вариант, обладающий наибольшей устойчивостью к воздействию дестабилизирующих факторов производства;
- одновременно решать две обратные многокритериальные задачи: выделение в пространстве состояний областей устойчивости, где «существуют» варианты материала с заданными свойствами и выбор технически оптимального варианта технологической системы в одной из областей устойчивости при условии обеспечения требуемого уровня воспроизводимости свойств материала;
- оперировать одновременно с несколькими свойствами материала при выборе оптимальных параметров процесса;
- выбирать в пространстве технологических параметров область устойчивого состояния системы, в которой одновременно достигаются и стабильно воспроизводятся высокие свойства материала.

Результаты исследований. На основании предварительных исследований технологии УТЦО установлено, что наилучшие результаты по свойствам показывает сталь У8, подвергнутая термоциклированию вокруг точки А₁ с неполной выдержкой при температурах термоциклического нагрева и охлаждения [7]. Сталь У8 имеет лучшие показатели твердости и ударной вязкости при 4–6 термоциклах УТЦО (рис. 3). Для сравнения, после традиционной термообработки стали У8 ее ударная вязкость составила 0,18 МДж/м², а твердость HRP 62. Изменения микроструктуры стали У8 с увеличением числа термоциклов видны на рис. 4.



Рис. 3. Влияние количества циклов при УТЦО на свойства стали У8. Закалка с термоциклом 790 °С ↔ 250 °С и выдержкой 10 мин., отпуск при 180 °С, 1,5 ч. Образцы: 10×10×55 мм.

Следующим этапом исследований являлось компьютерное проектирование процесса УТЦО. Для этого проводили термоциклическую обработку стали У8 с четырьмя термоциклами и неполной термоциклической выдержкой, как более приемлемыми параметрами процесса (рис. 3). Сравнительные данные по твердости, ударной вязкости и прочности термоциклически обработанной стали У8, полученные при реализации 11 экспериментальных опытов каждого плана экспериментов [8] представлены в таблицах 1, 2.

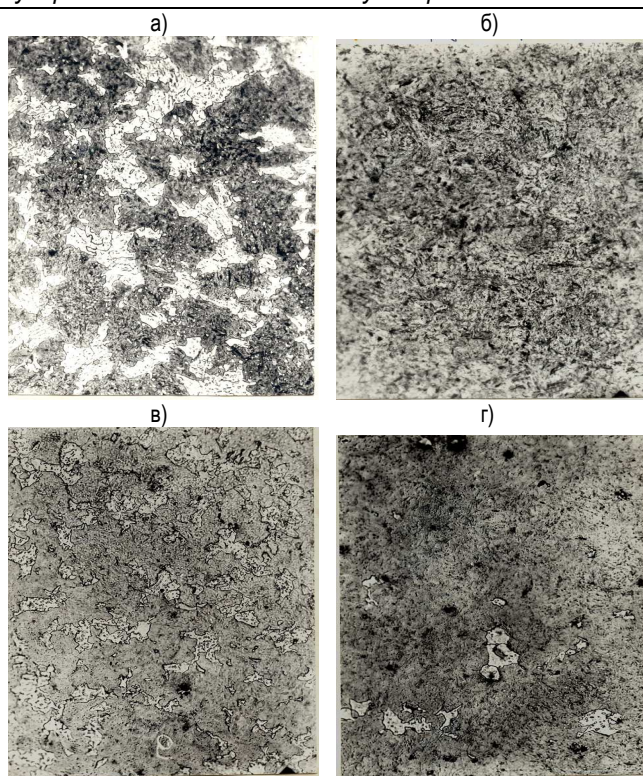


Рис. 4. Микроструктуры стали У8 после УТЦО(×600). Закалка с термоциклом 790 °С ↔ 250 °С и выдержкой 10 мин., отпуск при 180 °С, 1,5 ч. Образцы: 10×10×55 мм. а – после 2 термоциклов, б – после 3 термоциклов, в – после 4 термоциклов, г – после 6 термоциклов

На основании экспериментальных данных рассчитаны линейные и нелинейные математические модели, описывающие влияние температурно-временных параметров на свойства термоциклированной стали У8. Однако линейные модели оказались неадекватными. Адекватными признаны только нелинейные многокритериальные математические модели следующего вида:

Таблица 1. Результаты исследования твердости и ударной вязкости стали У8 после УТЦО

Номер опыта	Факторы				Параметры оптимизации	
	Верхняя температура термоцикла, °С	Нижняя температура термоцикла, °С	Время выдержки при максимальной температуре, мин.	Время выдержки при минимальной температуре, мин.	Ударная вязкость КС, МДж/м ²	Твердость HRP
Условное обозначение	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁	Y ₃
Основной уровень (0)	790	250	9	10		
Интервал варьирования	20	30	1	13		
Верхний уровень (+1)	810	280	10	13		
Нижний уровень (-1)	770	220	8	7		
1	+	+	+	+		
2	-	+	+	-	3,00	59
3	+	-	+	+	0,13	60
4	-	-	+	+	3,00	59
5	+	+	-	+	3,00	60
6	-	+	-	-	3,00	60
7	+	-	-	-	0,68	61
8	-	-	-	+	0,48	52
9	0	0	0	0	2,50	60
10	0	0	0	0	3,00	60
11	0	0	0	0	2,66	60

Таблица 2. Результаты исследования твердости и прочности на изгиб стали У8 после УТЦО

Номер опыта	Факторы				Параметры оптимизации	
	Верхняя температура термоцикла, °С	Нижняя температура термоцикла, °С	Время выдержки при максимальной температуре, мин.	Время выдержки при минимальной температуре, мин.	Прочность на изгиб $\sigma_{и}$, МПа	Твердость HRP
Условное обозначение	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_2	Y_3
Основной уровень (0)	790	250	7	10		
Интервал варьирования	20	30	1	3		
Верхний уровень (+1)	810	280	8	13		
Нижний уровень (-1)	770	220	6	7		
1	+	+	+	+		
2	-	+	+	-	4235	59
3	+	-	+	+	1298	60
4	-	-	+	+	4474	59
5	+	+	-	+	4624	59
6	-	+	-	-	2586	56
7	+	-	-	-	3612	60
8	-	-	-	+	2701	56
9	0	0	0	0	4462	59
10	0	0	0	0	4241	59
11	0	0	0	0	4286	59

$$Y_1 = -3386,57 + 2,93X_1 + 1,98X_2 + 449,76X_3 - 1,27X_4 - 0,36X_1X_3 - 0,20X_2X_3 + 0,14X_3X_4 - 2,61X_3^2 - 0,28X_3^3;$$

$$Y_2 = -278908,50 + 356,76X_1 + 4,95X_2 + 41910,35X_3 + 79,00X_4 - 53,32X_1X_3;$$

$$Y_3 = -364,61 + 0,41X_1 + 0,28X_2 + 44,87X_3 - 3,94X_4 - 0,04X_1X_3 - 0,02X_2X_3 + 0,40X_3X_4 - 0,30X_3^2 - 0,02X_3^3,$$

где Y_1 – ударная вязкость, Y_2 – прочность на изгиб, Y_3 – твердость по Роквеллу,

X_1 – максимальная температура термоцикла, X_2 – минимальная температура термоцикла, X_3 – время выдержки при максимальной температуре термоцикла, X_4 – время выдержки при минимальной температуре термоцикла.

Из-за многокритериальности и нелинейности технологической системы «процесс УТЦО стали У8» прогнозирование ее поведения усложняется. Кроме того, реальные объекты являются стохастическими системами, значения параметров которых случайным образом распределены в поле рассеивания. Вследствие этого возможно появление изделий, не отвечающих требованиям технического задания. Чтобы такого не произошло при проектировании технологического процесса предусматривается определенный запас устойчивости системы. Его наличие позволяет избежать часто возникающего ухудшения качества функционирования системы по критерию воспроизводимости свойств материала в условиях реального производства.

При традиционной методологии выбора оптимальных технологических параметров решения технологических задач проектирования системы не совсем корректны, поскольку в большинстве случаев процессы рассматриваются как детерминированные, т.е. когда процессы проходят при соблюдении определенных параметров технологической системы. В действительности детерминированных систем не существует, т.к. значения параметров реальных технологических систем всегда являются случайными, а сами системы стохастическими. Выбор оптимального варианта УТЦО стали У8 осуществлялся методами компьютерной методологии проектирования технологических систем, которая предназначена для решения нелинейных и стохастических задач при наличии взаимосвязанных, часто противоречивых, требований к свойствам материала и показателям качества системы.

Компьютерное проектирование технологии УТЦО стали У8 с помощью базовой программы СИНТЕЗ МК осуществляли в несколько этапов. Решение обратной многокритериальной задачи требует обязательного указания желаемых показателей свойств циклически улучшенной стали У8 (таблица 3). Результаты компьютерного выбо-

ра технически оптимального варианта изучаемой технологической системы – (процесса УТЦО стали У8) сведены в таблицах 4, 5.

Таблица 3. Желаемые границы свойств стали У8 после УТЦО

Наименование желаемого показателя свойств	Минимальное значение	Максимальное значение
Ударная вязкость КС, МДж/м ²	1,5	3,0
Прочность на изгиб $\sigma_{и}$, МПа	4900	6000
Твердость HRP	58	62

Таблица 4. Оптимальные параметры процесса УТЦО и поля их рассеивания

Наименование параметра процесса	Номинальное значение	Разрешенное поле рассеивания
Максимальная температура, °С	775	5,4
Минимальная температура, °С	231	13,6
Время выдержки при максимальной температуре, мин	9,83	0,30
Время выдержки при минимальной температуре, мин	11,95	1,03

Таблица 5. Оптимальные показатели свойств стали У8 после УТЦО и поля их рассеивания

Наименование оптимального показателя свойств	Номинальное значение	Поле рассеивания
Ударная вязкость КС, МДж/м ²	2,61	0,39
Прочность на изгиб $\sigma_{и}$, МПа	5469	574
Твердость HRP	59,2	0,6

Результаты виртуальных испытаний работоспособности технологической системы в условиях дестабилизирующих факторов производства приведены в таблице 6.

Для графической интерпретации результатов, полученных при решении задач исследования и проектирования технологии УТЦО стали У8 построены дискретные портреты, отображающие возможные состояния изучаемой технологической системы. Выделение

Таблица 6. Определение запаса работоспособности системы по входным параметрам

Наименование параметра процесса	Значение параметра	Значение производственного допуска	Поле производственного допуска	Коэффициент работоспособности
Максимальная температура, °С	775	±2	4	1,35
Минимальная температура, °С	231	±2	4	3,42
Время выдержки при максимальной температуре, мин	9,83	±0,08	0,16	1,88
Время выдержки при минимальной температуре, мин	11,95	±0,08	0,16	6,43

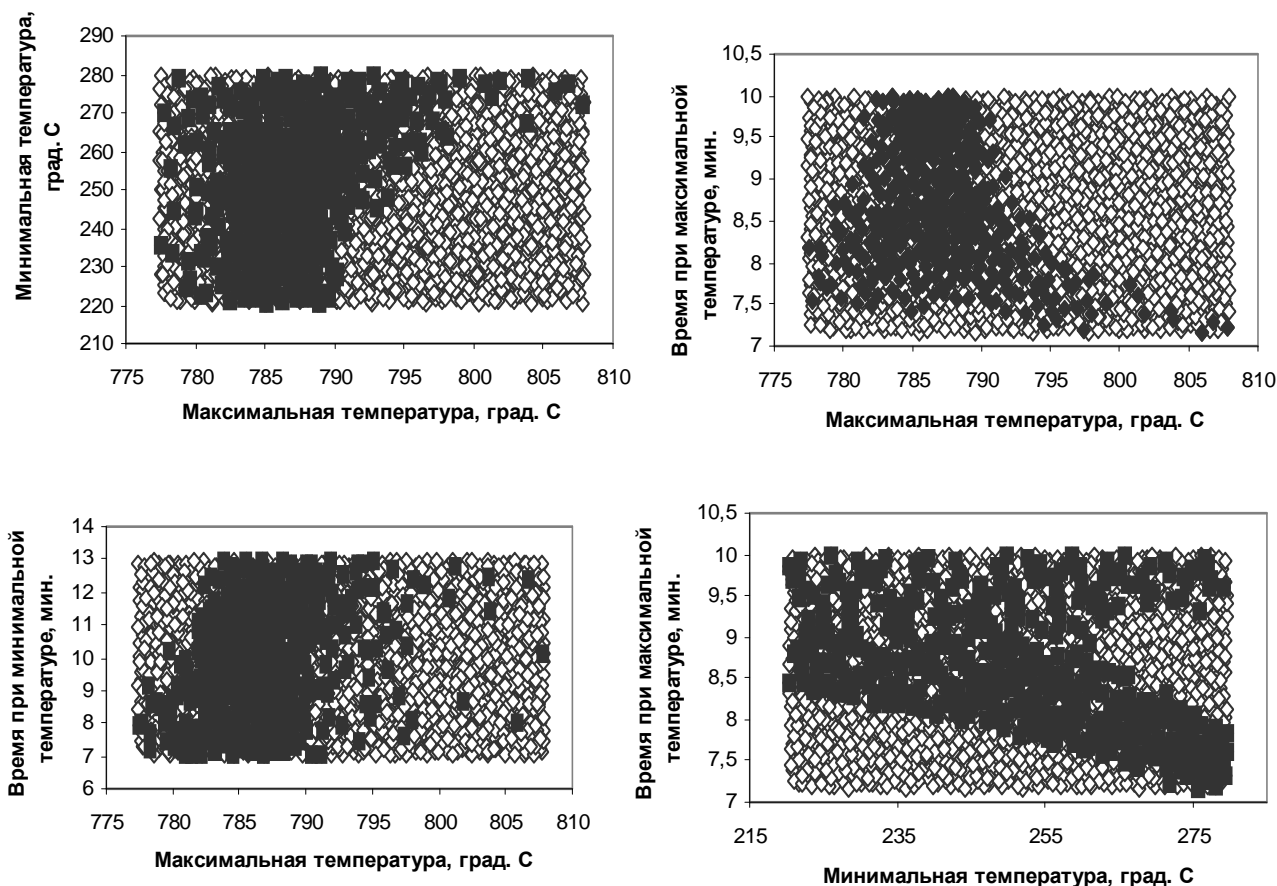


Рис. 5. Дискретные портреты виртуального пространства технологической системы процесса УТЦО стали У8

- ◆ - вариант системы, обеспечивающий заданные свойства стали У8
- ◇ - вариант системы, не обеспечивающий заданные свойства стали У8

Таблица 7. Фактические показатели свойств стали У8 после УТЦО и границы их рассеивания

Наименование показателя свойств	Номинальное значение	Границы рассеивания показателей свойств	
		Нижняя	Верхняя
Ударная вязкость КС, МДж/м ²	2,61	2,22	3,0
Прочность на изгиб $\sigma_{и}$, МПа	5469	4978	5960
Твердость НРР	59,2	58,6	59,8

областей устойчивости в многомерном пространстве состояний является важной частью оценки качества технологической системы и выбора технически оптимального варианта системы.

На рис. 5 показано виртуальное пространство состояний технологической системы. В качестве критериев выступают одновременно несколько свойств: ударная вязкость с желаемым уровнем: 1,5–3,0 МДж/м², прочность на изгиб с желаемым уровнем: 5000–6000 МПа; твердость НРР – не ниже 58 (таблица 3). Из рис. 5 видно, что технология УТЦО стали У8 реализуется с высокими свойствами только тогда, когда система попадает в области устойчивости, отмеченные темными точками. Выход одного или нескольких температурно-временных параметров за пределы областей устойчивости в области, отмечен-

ные светлыми точками, свидетельствует о том, что материал с заданными свойствами в этом случае не будет получен.

В результате решения задачи проектирования технологической системы «процесс УТЦО стали У8» были установлены фактические показатели свойств термоциклически улучшенной стали У8 (таблица 7), стопроцентный уровень воспроизводимости которых достигается при точном выполнении параметров процесса УТЦО в пределах разрешенных допусков (таблица 6).

Промышленные испытания свидетельствуют о том, что улучшающая термоциклическая обработка ударно-штампового инструмента, изготовленного из высокоуглеродистых нелегированных ста-

лей, позволяет значительно увеличить его износостойкость. Результаты испытаний на УПО БелОС (г. Молодечно) мелкоразмерных (диаметром 2 мм) пуансонов из стали У8 для пробивки отверстий в листовой трансформаторной стали на глубину 0,5–1 мм показали, что стойкость такого инструмента после УТЦО повысилась в 5–10 раз, по сравнению с серийным. Термоциклическая обработка пробивных пуансонов из высокоуглеродистых сталей, применяемых на ПО БелАЗ, для контурной штамповки листа толщиной 1,5–2 мм из стали 10КП повышает износостойкость пуансонов в 1,5–2,5 раза, по сравнению с традиционно закаленными.

Многочисленные производственные испытания инструмента из высокоуглеродистых сталей показали, что технология УТЦО наиболее эффективна для ударно-штампового инструмента (пуансонов, матриц), прежде всего, испытывающего большие ударные нагрузки; для тонкого и мелкоразмерного ударного инструмента; для инструмента, предназначенного для вырубки и штамповки изделий из труднообрабатываемых сплавов. Процесс УТЦО успешно использован на предприятиях Беларуси.

Заключение

1. Проведено математическое моделирование и компьютерное проектирование процесса УТЦО стали У8 с помощью компьютерных технологий метода многомерного проектного синтеза технических объектов, материалов и технологий. Определены технически-оптимальные режимы для реализации процесса в производстве с гарантированным достижением высоких свойств стального инструмента и изделий, подвергнутых УТЦО.
2. Процесс улучшающей термоциклической обработки инструментальной стали У8 повышает одновременно два противоположных свойства: прочность и вязкость, что позволяет по сравнению с традиционной термообработкой, увеличить износостойкость ударно-штампового инструмента более чем в 2 раза.
3. Разработан простой и экономичный способ термоциклической обработки высокоуглеродистых нелегированных сталей, который предназначен для улучшения эксплуатационных свойств штампового инструмента, испытывающего ударные нагрузки, особенно для мелкоразмерного и тонкого инструмента. Технология УТЦО может заменить существующие технологии термообработки данного инструмента.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федюкин, В.К. Научное обоснование и разработка технологий улучшающей термоциклической обработки металлических материалов: дис. ... докт. техн. наук / В.К. Федюкин. – Санкт-Петербург, 1993. – 323 с.
2. Федюкин, В.К. Термоциклическая обработка сталей и чугунов / В.К. Федюкин. – Л.: ЛГУ, 1977. – 143 с.

3. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов / Под общ. ред. М.Х. Шоршорова. – М.: Наука, 1984. – 186 с.
4. Федюкин, В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 255 с.
5. Федюкин, В.К. Метод термоциклической обработки металлов / В.К. Федюкин. – Л.: ЛГУ, 1984. – 192 с.
6. Гурьев, А.М. Экономнолегированные стали для литых штампов горячего деформирования и их термоциклическая и химико-термическая обработка: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.16.01 / А.М. Гурьев; Ин-т физ. прочн. и материаловед. СО РАН. – Томск, 2001 – 43 с.
7. Способ термической обработки инструментальных сталей: пат. 2017838 РФ, МПК5 C21D 9/22 / А.А. Шматов, Л.Г. Ворошнин, А.М. Гурьев, заявитель А.А. Шматов – № 4933944; заявл. 21.05.91; опубл. 15.08.94 // Открытия. Изобретения – 1994. – №15.
8. Новик, Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металлловедении. Раздел IV / Ф.С. Новик. – М.: МиСИС, 1971. – 148 с.
9. Витязь, П.А. Компьютерная методология выбора технически оптимального варианта в многокритериальных задачах проектирования / П.А. Витязь, О.В. Жилинский, Т.В. Лактюшина // Физическая мезомеханика.-Томск, 2004. – Т. 7. – С. 3–11.
10. Витязь, П.А. Математическое моделирование, компьютерное проектирование и исследование технологии получения легкоплавких подшипниковых сплавов, модифицированных ультрадисперсной алмазграфитовой шихтой / П.А. Витязь, В.И. Жорник, О.В. Жилинский, Н.Н. Прокопович, Т.В. Лактюшина // Вестник ПГУ. – Полоцк, 2005. – № 6. – С. 2–6.
11. Витязь, П.А. Компьютерные синтез-технологии исследования и проектирования технических и технологических систем / П.А. Витязь, О.В. Жилинский, Т.В. Лактюшина, С.И. Марочкина // Пятая международная научно-техническая конференция "Информационные технологии в промышленности (ИТ*2008)", 22-24 октября 2008г. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси. – 2008. – С. 11–12.
12. Витязь, П.А. Выбор технически оптимального варианта методики компьютерных синтез-технологий исследования и проектирования технических и технологических систем / П.А. Витязь, О.В. Жилинский, Т.В. Лактюшина, С.И. Марочкина // Пятая международная научно-техническая конференция "Информационные технологии в промышленности (ИТ*2008)", 22-24 октября 2008г. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси. 2008. – С. 29–30.

Материал поступил в редакцию 30.03.09

SHMATOV A.A., GURYEV A.A., LAKTYUSHINA T.V., ZYLINSKIY O.V., MAROCHKINA S.I. Research and computer designing of process improving term of cyclic processing of steel U8

In practice sharply there is a question of increase of firmness steel smallsize, lengthy and thin with great dispatch-shtampovogo the tool as traditional heat treatment cannot provide to the tool an optimum combination and high indicators of mutually opposite properties: viscosity, on the one hand and durability and hardness, on the other hand. Such traditionally tempered tool usually has a small resource of work, namely, raising hardness and durability of a steel, its viscosity decreases so that with great dispatch-shtampovoyj the tool quickly breaks; and at impact strength substantial increase, hardness and durability decreases became that the tool edge conducts to contortion cutting. To solve the specified problem it is possible only having applied improving thermocyclic processing (AITP). The present article is devoted studying and computer designing of such process AITP for steel U8.

As a result of researches it is established that the technology of improving thermocyclic processing of tool steel U8 really simultaneously raises mutually opposite mechanical properties: durability and viscosity that allows in comparison with traditional heat treatment to increase wear resistance with great dispatch-shtampovogo the tool more than 2 since. By means of a method of multidimensional design synthesis of technological system mathematical modelling and computer designing of process AITP of steel U8 is spent, are As a result calculated nonlinear numerouscriterion the models describing influence of parametres of process AITP on properties of a tool steel. Discrete portraits of virtual space of technological system are constructed. Optimum technological modes for process realisation in manufacture with the guaranteed achievement of high properties of the steel products subjected to method AITP are defined.

In work approbation of process AITP is spent. It is noticed that this process of heat treatment is technologically simple, economically smallbill and can replace existing technologies of heat treatment.