

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СТАЛИ 40С2А В ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА ГНУТЫХ ПРУЖИННЫХ ИЗДЕЛИЙ

**И.Ю. Мезин, И.Г. Гун, В.В. Чукин,  
И.А. Михайловский, Е.Г. Касаткина, А.С. Лимарев**

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск*

В работе представлены результаты исследования свойств стали 40С2А применительно к различным этапам производства пружинных изделий. Указанные исследования позволили провести оценку реализуемости процессов, применяемых в пружинном производстве. Выполненные исследования показали, что горячекатаная сталь 40С2А после металлургического передела не может быть непосредственно использована в производстве пружинных изделий без предварительной смягчающей термической обработки, если в технологический процесс включены операции холодной пластической деформации. По результатам выполненных исследований рекомендованы параметры некоторых процессов переработки стали 40С2А.

*Ключевые слова:* пружинные изделия; гнутая пружина; кремнистая сталь; сфероидизирующий отжиг; закалка; отпуск; относительное удлинение; относительное сужение; временное сопротивление разрыву.

### Введение

Пружинные элементы различных видов и типов широко применяют в автомобилестроении, железнодорожном транспорте, приборостроении, машиностроении и многих других отраслях промышленности. От качества и эксплуатационных характеристик этих изделий зависит устойчивая работа большинства машин и механизмов. Особое место в технике занимают так называемые гнутые (фигурные, пространственные) пружины. Эти пружины представляют собой плоские или пространственные гибкие кривые брусья малой кривизны. С точки зрения производства, гнутые пружины, как правило, относятся к изделиям сложной формы с жестко регламентированной геометрией и особыми требованиями по механическим свойствам и эксплуатационным характеристикам. Примером таких изделий являются прутковые пружинные клеммы для рельсовых креплений различных типов [1, 2], разнообразные скобы, фиксаторы и т. п.

Производство гнутых пружин несколько отличается от технологии изготовления других видов пружинных изделий как по содержанию операций, так и точности соблюдения основных параметров производства. Технологический процесс изготовления пружинных изделий, в большинстве случаев, включает подготовку исходного металла; формообразование пружины; отделку заготовок; термооб-

работку; технологическое испытание или заливоливание [3, 4]. Эффективными приемами формирования контура гнутой пружины являются методы холодной или горячей гибки, а также штамповки. Их высокая результативность подтверждена многолетней практикой [5, 6]. В случае сложной пространственной формы готовой пружины ее формообразование может быть реализовано в несколько этапов: формирование плоской промежуточной заготовки холодной или горячей гибкой специально подготовленного металла и формирование окончательного профиля пружины пластическим деформированием плоской заготовки в горячем или холодном состоянии [3, 4]. К числу задач, решаемых при производстве пружин, можно отнести обеспечение производственного процесса исходным металлом, позволяющим успешно реализовывать производственные операции на различных этапах производства пружинного изделия, а также формировать заданные показатели качества готовой продукции [7, 8].

Основным материалом для изготовления пружин обычно является высокоуглеродистая и легированная сталь, но на практике, как правило, предпочтение отдается кремнистой стали различных марок. Причина широкого применения стали этой группы для изготовления пружин заключается не только в низкой стоимости, но и в положительном влиянии

кремния на механические свойства и микроструктуру металла. Сталь, легированная кремнием, из-за замедления процессов разупрочнения при отпуске может обеспечить сочетание высокой прочности и вязкости, поэтому пружины могут работать в условиях динамических нагрузок [9]. Недостатками кремнистых сталей являются: склонность к химической неоднородности по содержанию углерода и кремния в литых и катаных заготовках; склонность к графитизации; склонность к обезуглероживанию при каком-либо термическом воздействии.

Одним из перспективных материалов для производства пружинных элементов следует считать сталь марки 40С2А, содержащую основные химические элементы в следующем количестве (ТУ 14-101-481-2002): углерод 0,39–0,42 мас.%; кремний 1,5–1,8 мас.%; марганец 0,54–0,80 мас.%. Хотя сталь этой марки не входит в перечень стандартных материалов, используемых в производстве упругих элементов, однако, она в конкретных условиях производства и эксплуатации пружинного изделия может оказаться более приемлемой. Сталь марки 40С2А менее подвержена обезуглероживанию поверхности и графитизации, а также характеризуется большей пластичностью и пониженным, по сравнению с другими марками кремнистой стали, сопротивлением пластической деформации в холодном и горячем состоянии, что позволяет вести обработку давлением на универсальном оборудовании при удовлетворительной стойкости инструмента [10]. Сталь марки 40С2А допускает реализацию процесса закалки в воде.

Как отмечалось ранее, важным моментом для реализации всей совокупности технологических операций является обеспечение необходимых и достаточных свойств металла [11, 12]. При этом анализ литературных данных свидетельствует о существенном влиянии характера исходной структуры на условия протекания процессов. Эффективное осуществление процессов подготовки металла к последующей его переработке, включая формирование необходимого типа структурного состояния металла, а также окончательная термическая обработка готовых изделий возможны при условии достаточно полного представления об особенностях и основных характеристиках обрабатываемых сплавов. К числу таких характеристик относятся данные о химическом составе стали, ее прокаливаемости,

склонности к росту зерна, чувствительности к перегреву, кинетике распада переохлажденного аустенита. Значимыми являются также сведения о температурных границах фазовых превращений, характеризующихся положением критических точек  $A_1$  и  $A_3$ .

### Исследование положения критических точек $A_1$ и $A_3$ стали 40С2А

На температуру фазовых превращений, как и на кинетику распада переохлажденного аустенита влияет большое число факторов: химический состав стали, условия ее выплавки, разливки, раскисления, скорость нагрева и охлаждения при термообработке и др. Необходимая информация о характеристиках обрабатываемых сталей содержится в справочной литературе. Сведения, имеющиеся в различных литературных источниках, под влиянием перечисленных выше факторов не вполне согласуются между собой, что создает определенные трудности в обеспечении требуемого качества термически обрабатываемой продукции. В целом, информация о стали марки 40С2А в литературе представлена недостаточно. Одним из немногочисленных источников, содержащим информацию о температурах фазовых равновесий и особенностях поведения переохлажденного аустенита в стали 40С2А, явилась работа [13]. Учитывая ограниченность сведений о данной стали и значимость их для производства пружинных изделий, было проведено опытное изучение температур фазовых превращений в стали 40С2А. Для изучения фазовых превращений применялся дилатометрический метод с использованием дифференциального оптического дилатометра Шевенара.

В табл. 1 представлены скорости нагрева и охлаждения образцов, зафиксированные в ходе дилатометрического исследования. Температуры критических точек, установленные в результате исследования и соответствующие прямому и обратному фазовым превращениям в стали 40С2А, указаны в табл. 2.

Данные дилатометрического исследования соответствуют специфике конкретной партии металла, которая характеризовалась содержанием углерода 0,39–0,42 мас.%; кремния 1,7–1,8 мас.%, что совпадает с интервалами содержания данных компонентов, указанных в ТУ 14-101-481-2002. Поэтому при решении технологических задач, связанных с дальнейшей переработкой данной ста-

Таблица 1

Скорости нагрева и охлаждения образцов при дилатометрическом исследовании

Температурный интервал, °С	Скорость нагрева, °С/с	Скорость охлаждения, °С/с
1000–900	0,12	0,4
900–800	0,175	0,32
800–700	0,33	0,2

Таблица 2

Критические точки стали 40С2А

Опытные данные	Критические точки			
	$A_{c1}$	$A_{r1}$	$A_{c3}$	$A_{r3}$
	770 °С	690–720 °С	900 °С	800 °С
Литературные данные [13]	$A_1$		$A_3$	
	780 °С		880 °С	

ли, поставляемой по указанному нормативно-му документу, следует ориентироваться на опытные данные, полученные в результате проведенного исследования.

#### Формирование свойств стали 40С2А в процессе предварительного отжига

Современные механизированные и автоматизированные процессы производства металлоизделий предъявляют высокие требования к металлургическому качеству обрабатываемого металла и его предварительной подготовке. Соблюдение необходимого уровня и стабильности механических свойств стали, однородности ее химического состава и структурного состояния предопределяет нормальную и безаварийную работу металлообрабатывающего оборудования. В случае осуществления различных процессов формоизменения методами холодной пластической деформации наиболее желательным состоянием структуры стали является структура зернистого перлита, представляющая собой наличие сфероидизированных частиц цементита в ферритной матрице, что, в свою очередь, приводит к снижению твердости, обеспечивает повышенный запас технологической пластичности стали, ее изотропность, меньшее упрочнение при деформации. Однако многие промышленные стали, в том числе и сталь 40С2А после горячей прокатки, в силу специфики производства приобретают структуру пластинчатого перлита различной степени дисперсности. Сталь с такой структурой имеет повышенную твердость, что не всегда удовлетворяет требованиям технологических процессов ее дальнейшей переработки. Зернистый перлит также является оптимальной

исходной структурой для последующей закалки. При структуре зернистого перлита шире интервал закалочных температур и меньше склонность к растрескиванию при закалке.

Простейшим видом сфероидизирующего отжига является достаточно длительная выдержка стали с перлитной структурой при температурах чуть ниже  $A_1$ . При этих температурах подвижность атомов углерода и железа уже достаточно высока, что обеспечивает протекание процессов коагуляции и сфероидизации с относительно высокой скоростью. Однако, как показывает практика, для получения предписанных значений физико-механических свойств при обработке по данному режиму требуется достаточно большое время отжига – более 40 ч. Экономически выгодней такой режим, при котором на короткое время превышает температура фазового превращения, после чего осуществляется изотермическая выдержка металла при температуре ниже точки  $A_1$ . При отжиге стали с феррито-перлитной структурой по такому режиму сфероидизированные частички цементита образуются в результате процессов растворения и повторного выделения. Третьим вариантом проведения сфероидизирующей термической обработки является осуществление циклического отжига. Механизм сфероидизации в этом случае полностью соответствует процессам, протекающим в стали при ее обработке по второму режиму. Однако промышленное осуществление циклического отжига значительно сложнее и оправдывает себя только в случае использования трудносфероидизируемых сталей специального назначения, когда за один цикл нагрева выше  $A_{c1}$ , последующего охлаждения и выдержки ниже

критической температуры не удается достигнуть требуемой степени сфероидизации структуры.

Для оценки характера изменения свойств стали 40С2А в процессе сфероидизирующего отжига и проверки его результативности для подготовки металла к производству пружинных изделий был принят второй вариант режима указанной термической обработки, то есть нагрев металла на короткое время до температуры выше точки  $A_1$  с последующей его выдержкой при температуре ниже указанной точки. На первом этапе исследований были поставлены опыты в лабораторных условиях. Мерные прутки диаметром 14 мм и длиной 250–300 мм отжигались в камерной печи по следующему режиму: нагрев образцов до температуры 800 °С с варьированием времени выдержки 1–2 ч; последующее охлаждение с печью до температуры 760 °С и выдержка 6–8 ч. При формировании указанного режима температура критической точки  $A_1$  для стали 40С2А принята по данным dilatометрического исследования (770 °С). От температуры 760 °С до комнатной температуры образцы охлаждались двумя способами: в одном случае – охлаждение с печью до 550 °С, а затем на воздухе; в другом – полное охлаждение с печью. Для каждого варианта режима отжига использовалось от 2 до 5 образцов. После от-

жига образцы подвергались механическим испытаниям и металлографическому анализу с целью определения процентного содержания сфероидизированной фазы. Параметры режима сфероидизирующего отжига, показатели уровня механических свойств и структурного состояния металла, термообработанного в лабораторных условиях, представлены в табл. 3, 4.

Принимая во внимание результаты проведенного структурного отжига, выполненного в лабораторных условиях, для дальнейшей промышленной апробации принят режим со следующими температурно-временными параметрами: нагрев металла до 800 °С и выдержка при этой температуре 2 ч; охлаждение металла с печью до 750–760 °С и выдержка при этой температуре 8 ч. Реализация указанного режима позволила обеспечить наиболее благоприятные параметры металла для дальнейшей его переработки.

### Формирование свойств стали 40С2А в процессе закалки и отпуска

Конечные свойства пружинные изделия приобретают в результате окончательной термической обработки, то есть при закалке и последующем отпуске. Основную роль в достижении наилучших результатов закалки, а именно получение структуры мартенсита во

Таблица 3  
Содержание зернистого перлита стали 40С2А после сфероидизирующего отжига в лабораторных условиях по опытным режимам

№ режима	Выдержка при 800 °С, ч	Выдержка при 760 °С, ч	Режим охлаждения	Содержание зернистого перлита в образцах, %
1	1	6	С печью	50–100
2	1	8	С печью до 550 °С, далее на воздухе	90–100
3	1	8	С печью	100
4	2	6	С печью	н/д
5	2	8	С печью до 55 °С, далее на воздухе	н/д

Таблица 4  
Механические свойства стали 40С2А после сфероидизирующего отжига в лабораторных условиях по опытным режимам

№ режима	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
1	65–78	20–25	48–56
2	68–65	22–24	48–51
3	67–68	21–24	46–59
4	64–65	18–18,5	55,5–57
5	60,5–65	18–23	54–55

всем сечению изделия, играет правильный выбор температуры нагрева. Общим правилом для назначения температуры нагрева под закалку доэвтектоидных сталей, к числу которых относится и сталь 40С2А, является превышение на 30–50 °С температуры верхней критической точки, соответствующей полному превращению исходной структуры в аустенит.

Для обоснованного выбора закалочной температуры при осуществлении окончательной термической обработки пружинных изделий и оценки формирования при этом соответствующих свойств заготовок проведены опыты по выявлению уровня твердости стали 40С2А после закалки в воду с печного нагрева до температур 860, 880, 900, 920, 950, 1000 °С. Результаты исследований приведены на рис. 1.

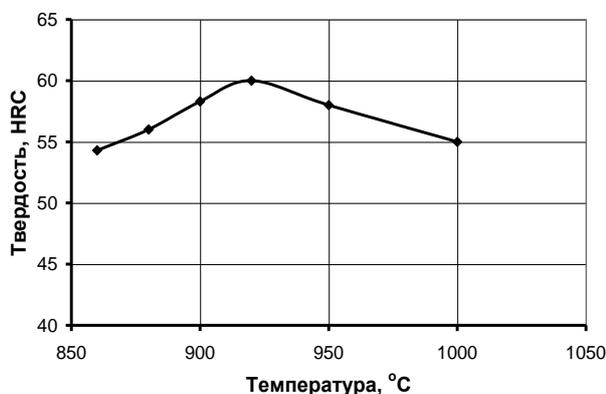


Рис. 1. Зависимость твердости стали 40С2А после закалки в воде от температуры нагрева в камерной печи

Из представленного графика следует, что максимальная твердость достигается при закалке с температуры 920 °С. С учетом ранее зафиксированного в опытах положения верхней критической точки 890–900 °С для стали 40С2А температура 920 °С удовлетворяет рекомендуемому в литературе принципу выбора оптимальной температуры закалки, то есть  $A_{c3} \pm (30 \div 50) \text{ } ^\circ\text{C}$ . Такая температура способна придать обрабатываемой стали наибольшую твердость 59–60 HRC.

При правильной реализации процесса закалки упругие характеристики пружинных изделий, в конечном итоге, определяются режимом отпуска. Для большинства стандартных кремнистых сталей, выпускаемых по ГОСТ 14959–79, в литературе [9, 14] приводятся зависимости изменения механических свойств от температуры и продолжительности отпуска. Для нестандартных марок стали типа

40С2А такие данные в литературе не встречаются, хотя являются необходимыми для производства. Известно, что величина предела упругости пружинной стали изменяется при варьировании температуры отпуска. Наиболее высокий предел упругости соответствует вполне определенному интервалу температур реализации данного процесса. Для предотвращения хрупкого разрушения изделий и появления трещин, определяющее значение для выбора температуры отпуска приобретают достигаемые уровни пластичности и сопротивления хрупкому разрушению. В связи с этим температуры отпуска обычно принимаются несколько выше тех, которые соответствуют наибольшему пределу упругости. Для выяснения закономерностей изменения механических свойств закаленной стали 40С2А при отпуске в настоящей работе выполнены исследования по изучению влияния его температуры и продолжительности на величину временного сопротивления разрыву, пределов упругости и текучести, характеристик пластичности металла.

В качестве исходного материала при проведении исследований использовались мерные образцы подката стали 40С2А длиной 250–300 мм, подвергнутые закалке в воде с оптимальной температурой (см. рис. 1). Закаленные образцы отпускались в электрической камерной печи при температурах 350–450 °С в течение времени от 20 до 90 мин. Далее проводились механические испытания отпущенных образцов в соответствии с ГОСТ 1497–84. Данные по механическим свойствам стали 40С2А в зависимости от температуры и продолжительности отпуска приведены на рис. 2–6.

Из графиков, представленных на рис. 2, следует, что условное напряжение, соответствующее остаточной деформации 0,005 % (условный предел упругости) при продолжительном отпуске в течение 80–90 мин, непрерывно снижается с ростом температуры нагрева. Для меньшей длительности отпуска при температурах до 400 °С характерно замедление темпа падения величины условного предела текучести ( $\sigma_{0,005}$ ).

Наиболее высокая величина условного предела упругости достигается кратковременным отпуском в течение 20–30 мин с нагревом металла до 400 °С. Увеличение длительности пребывания металла при указанной температуре вызывает уже более интенсивное

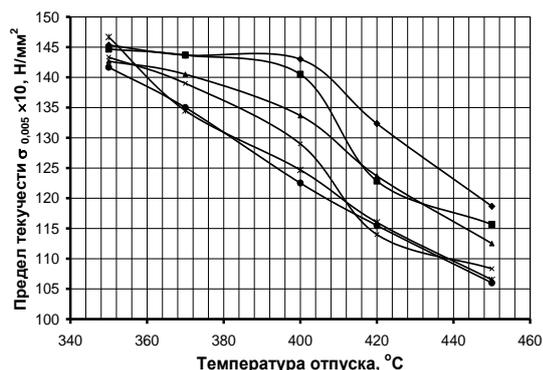


Рис. 2. Зависимость предела текучести  $\sigma_{0,005}$  стали 40C2A от температуры отпуска при различном времени выдержки

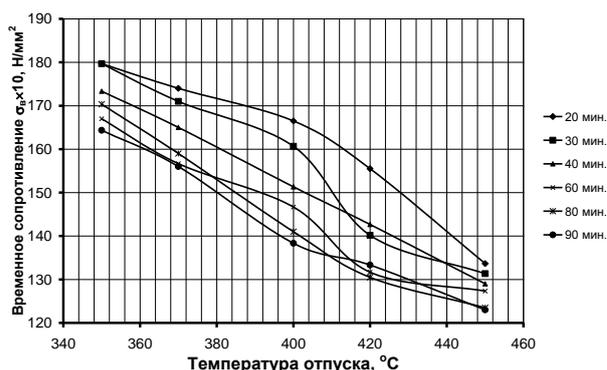


Рис. 3. Зависимость временного сопротивления разрыву  $\sigma_b$  стали 40C2A от температуры отпуска при различном времени выдержки

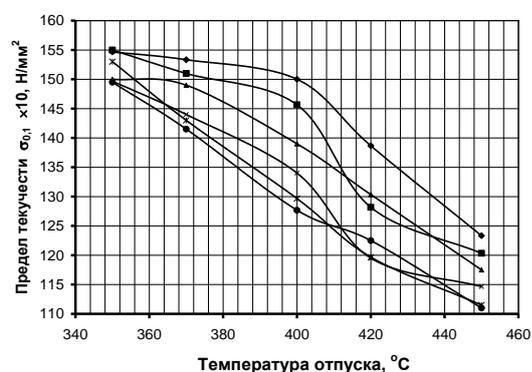


Рис. 4. Зависимость предела текучести  $\sigma_{0,1}$  стали 40C2A от температуры отпуска при различном времени выдержки

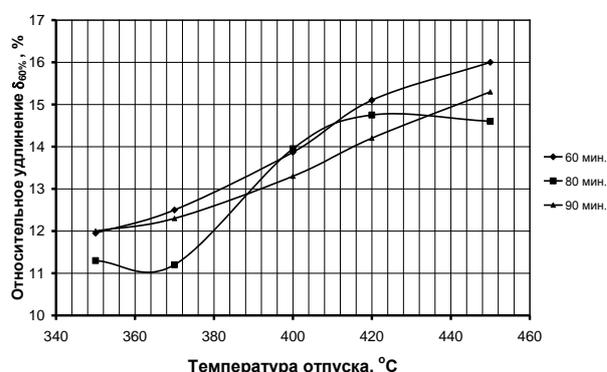


Рис. 5. Зависимость относительного удлинения  $\delta$  стали 40C2A от температуры отпуска при различном времени выдержки

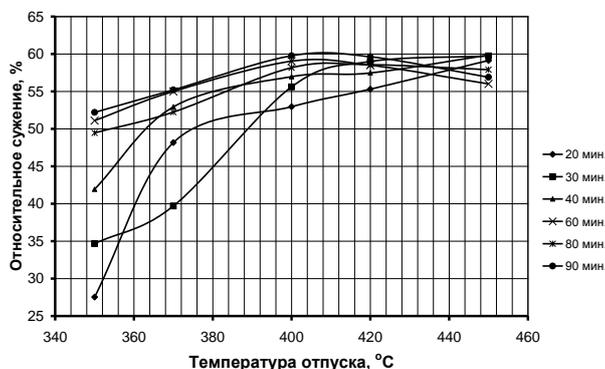


Рис. 6. Зависимость относительного сужения  $\psi$  стали 40C2A от температуры отпуска при различном времени выдержки

падение упругих характеристик. Изменение показателей прочности стали ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,1}$ ) при выдержке в печи менее 40 мин полностью коррелирует с ходом кривых изменения величины  $\sigma_{0,005}$  при нагреве во всем исследуемом интервале температур отпуска (см. рис. 3 и 4). Большая продолжительность отпуска (свыше 30 мин) инициирует разупрочнение стали и вызывает существенное снижение величин

временного сопротивления разрыву ( $\sigma_b$ ) и условного предела текучести ( $\sigma_{0,1}$ ). Все показатели пластичности стали ( $\delta$  и  $\psi$ ) с увеличением температуры и продолжительности отпуска обнаруживают тенденцию к повышению (см. рис. 5 и 6). Непрерывный рост при увеличении температуры отпуска свойственен относительному удлинению, тогда как относительное сужение повышается только при на-

греве до 400 °С, а затем стабилизируется. Результаты проведенного исследования позволяют рекомендовать следующий режим окончательной термической обработки пружинных изделий, изготовленных из данной марки стали: температура отпуска 400 °С, а его продолжительность 30 мин, при условии полного прогрева изделия к началу отсчета времени.

### Заключение

Как было отмечено, производство гнутых пружин принципиально отличается от технологии изготовления других видов пружинных изделий, как по содержанию операций, так и по точности соблюдения основных параметров производства. Одним из перспективных материалов для производства пружинных элементов следует считать сталь марки 40С2А. Сталь этой марки не входит в перечень стандартных материалов, используемых в производстве упругих элементов, и поэтому требует проведения дополнительных исследований закономерностей изменения ее физико-механических свойств по ходу технологического процесса ее переработки.

Горячекатаная сталь 40С2А после металлургического передела не всегда может быть непосредственно использована в производстве пружинных изделий без предварительной смягчающей термической обработки, особенно, если при горячей прокатке стали отсутствуют специальные виды обработки проката, а в технологический процесс последующей переработки включены операции холодной пластической деформации. Высокая прочность обрабатываемого металла затрудняет процесс холодного деформирования, увеличивает нагрузки на оборудование и обуславливает повышенный расход инструмента. Лучшим вариантом смягчающей термической обработки металла является отжиг по ступенчатому режиму, позволяющий сократить продолжительность процесса и увеличить процент сфероидизированной фазы. Также в работе приведены результаты изучения положения критических точек фазовых превращений исследуемой стали. Установлены закономерности формирования механических свойств образцов из стали 40С2А в процессах закалки и отпуска. В результате выполненных исследований рекомендованы параметры термического воздействия при переработке стали 40С2А.

### Литература

1. Разработка и совершенствование технологии производства пружинных клемм / В.В. Кривошапов, С.М. Вершигора, И.Ю. Мезин, В.В. Чукин // Производство проката. – 2000. – № 7. – С. 21–24.
2. Some aspects of launching the production of spring clips for rail fastenings / I.Yu. Mezin, I.G. Gun, A.S. Limarev, I.A. Mikhailovskiy // CIS Iron and Steel Review. – 2016. – Vol. 12. – P. 26–31.
3. Пат. 2227812 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С21D9/02. Способ изготовления пружинных изделий / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, В.В. Чукин и др. – Оpubл. 2004, БИИПМ № 6.
4. Пат. 2224612 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В21D7/02. Способ изготовления изделий сложной формы / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, В.В. Чукин и др. – Оpubл. 2004, БИИПМ № 6.
5. Гун Г.С. Инновационные решения в обработке металлов давлением (научный обзор) // Качество в обработке материалов. – 2014. – № 2. – С. 5–26.
6. Колокольцев, В.М. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. История. Развитие / В.М. Колокольцев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1 (45). – С. 5–6.
7. Проектирование ресурсосберегающих режимов производства калиброванной стали для пружинных клемм / А.Г. Корчунов, В.В. Чукин, В.Н. Лебедев и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2007. – № 1. – С. 74–76.
8. Совершенствование процессов формирования качества прутковой заготовки из стали 40С2 для производства пружинных изделий / И.Ю. Мезин, Г.С. Гун, М.В. Чукин, Л.В. Крамзина // Качество в обработке материалов. – 2015. – № 1 (3). – С. 35–44.
9. Рахитадт, А.Г. Пружинные стали и сплавы / А.Г. Рахитадт. – 3-е изд.; перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.
10. Кроха, В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации. Справочник / В.А. Кроха. – М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.
11. Обеспечение качества подготовки металла в сквозной технологии производства упругих элементов рельсовых скреплений / Е.В. Карпов, В.В. Чукин, И.Ю. Мезин и др. // Фазовые и структурные превращения в ста-

лях: сб. науч.тр. / под ред. В.Н. Урцева. – Магнитогорск. – 2003. – Вып. 3. – С. 510–516.

12. Мезин, И.Ю. Анализ вариантов формирования свойств исходной заготовки при производстве высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал / И.Ю. Мезин, В.В. Чукин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. – № 4. – С. 30–34.

13. Попов, А.А. Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита / А.А. Попов, А.Е. Попова. – М.; Свердловск: Машгиз, 1961. – 430 с.

14. Зубов, В.Я. Структура и свойства стальной пружинной ленты / В.Я. Зубов, С.В. Грачев. – М: Металлургия, 1964. – 224 с.

**Мезин Игорь Юрьевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; meziniy1@mail.ru.

**Гун Игорь Геннадьевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; goun@belmag.ru.

**Чукин Виталий Васильевич**, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; tssa@magtu.ru.

**Михайловский Игорь Александрович**, д-р техн. наук, профессор кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; i-mikhailovsky@yandex.ru.

**Касаткина Елена Геннадьевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; tssa@magtu.ru.

**Лимарев Александр Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; aslimarev@mail.ru.

*Поступила в редакцию 5 апреля 2017 г.*

---

DOI: 10.14529/met170208

## ANALYSIS OF THE QUALITY INDICATORS OF 40S2A GRADE STEEL IN THE PROCESSES OF PRODUCTION OF BENT SPRINGS

*I.Yu. Mezin, meziniy1@mail.ru,*

*I.G. Gun, goun@belmag.ru,*

*V.V. Chukin, tssa@magtu.ru,*

*I.A. Mikhailovskiy, i-mikhailovsky@yandex.ru,*

*E.G. Kasatkina, tssa@magtu.ru,*

*A.S. Limarev, aslimarev@mail.ru*

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation*

The paper presents the results of studying the properties of 40S2A grade steel in relation to various stages of production of spring products. These studies made it possible to assess the feasibility of processes used in spring production. The performed researches showed that hot-rolled 40S2A steel after metallurgical conversion can not be directly used in the production of spring products without preliminary softening heat treatment, if operations of cold plastic deformation are included

in the technological process. Based on the results of the performed studies, the parameters of some operations of processing of 40S2A steel are recommended.

*Keywords:* spring products; bent spring; silicon steel; spheroidizing annealing; hardening; tempering; elongation; reduction of area; ultimate tensile strength.

### References

1. Krivoschchapov V.V., Vershigora S.M., Mezin I.Yu., Chukin V.V. [Development and Improvement of Technology of Production of Spring Terminals]. *Proizvodstvo prokata*, 2000, no. 7, pp. 21–24. (in Russ.)
2. Mezin I. Yu., Gun I. G., Limarev A. S., Mikhailovskiy I. A. Some Aspects of Launching the Production of Spring Clips for Rail Fastenings. *CIS Iron and Steel Review*, 2016, no. 2, pp. 26–31. DOI: 10.17580/cislr.2016.02.06
3. Gun G.S. et al. *Sposob izgotovleniya pruzhinnykh izdeliy* [Method of Manufacturing Spring Products]. Patent RF, no. 2227812, 2004.
4. Gun G.S. et al. *Sposob izgotovleniya izdeliy slozhnoy formy* [Method of Manufacturing Products of Complex Shape]. Patent RF, no. 2224612, 2004.
5. Gun G.S. [Innovative Solutions in the Processing of Metals by Pressure (Scientific Review)]. *Kachestvo v obrabotke materialov*, 2014, no. 2, pp. 5–26. (in Russ.)
6. Kolokoltsev V.M. [Nosov Magnitogorsk State Technical University. History. Development]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2014, no. 1, pp. 5–6. (in Russ.)
7. Korchunov A.G., Chukin V.V., Lebedev V.N. et al. [Design of Resource-Saving Modes of Production of Calibrated Steel for Spring Terminals]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2007, no. 1, pp. 74–76. (in Russ.)
8. Mezin I.Yu., Gun G.S., Chukin M.V., Kramzina L.V. [Perfection of the Processes of Forming the Quality of Bar Stock From 40S2 Steel for the Production of Spring Products]. *Kachestvo v obrabotke materialov*, 2015, no. 1, pp. 35–44. (in Russ.)
9. Rakhshadt A.G. *Pruzhinnye stali i splavy* [Spring Steels and Alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 400 p.
10. Krokha V.A. *Uprochnenie metallov pri kholodnoy plasticheskoy deformatsii* [Hardening of Metals During Cold Plastic Deformation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 157 p.
11. Karpov E.V., Chukin V.V., Mezin I.Yu., Vasil'ev S.P., Dzheriykina L.V., Sych' K.G. [Ensuring the Quality of Metal Preparation in the Through Technology of Production of Elastic Elements of Rail Fasteners]. *Fazovye i strukturnye prevrashcheniya v stalyakh* [Phase and Structural Transformations in Steels]. Vol. 3. Urtsev V.N. (Ed.). Magnitogorsk, 2003, pp. 510–516. (in Russ.)
12. Mezin I.Yu., Chukin V.V. [Analysis of Options for Forming the Properties of the Initial Billet in the Production of High-Strength Steel Reinforcement for Reinforced Concrete Sleepers]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2011, no. 4, pp. 30–34. (in Russ.)
13. Popov A.A., Popova L.E. *Spravochnik termista. Izotermicheskie i termokineticheskie diagrammy raspada pereokhlazhdennogo austenita* [Directory of Thermist. Time-Temperature Transformation and Continuous Cooling Transformation Diagrams]. Moscow, Sverdlovsk, Mashgiz Publ., 1961. 430 p.
14. Zubov V.Ya., Grachev S.V. *Struktura i svoystva stal'noy pruzhinnoy lenty* [Structure and Properties of Steel Spring Tape]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1964. 224 p.

Received 5 April 2017

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Анализ показателей качества стали 40С2А в процессах производства гнутых пружинных изделий / И.Ю. Мезин, И.Г. Гун, В.В. Чукин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 61–69. DOI: 10.14529/met170208

### FOR CITATION

Mezin I.Yu., Gun I.G., Chukin V.V., Mikhailovskiy I.A., Kasatkina E.G., Limarev A.S. Analysis of the Quality Indicators of 40S2A Grade Steel in the Processes of Production of Bent Springs. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 61–69. (in Russ.) DOI: 10.14529/met170208