

Обмен опытом

Exchange of Experience

DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-I-45-48

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТАЛИ 30ХГСА НА ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗАГОТОВОК КРУГЛОЙ ФОРМЫ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО ИЗГИБА

© Дмитрий Юрьевич Магин, Александр Анатольевич Хлыбов

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия;
e-mail: dmizy@inbox.ru

*Статья поступила 2 марта 2018 г. Поступила после доработки 4 апреля 2018 г.
Принята к публикации 11 апреля 2018 г.*

Представлены результаты исследования влияния структуры и свойств стали 30ХГСА на формообразование заготовок круглой формы методом пластического изгиба. Наблюдали, что в исходном состоянии прутки стали в процессе гибки разрушаются. Методами механических испытаний и металлографического анализа установили, что сталь при поставке имеет структуру пластинчатого перлита. Провели сравнительную оценку структуры и свойств материала в исходном состоянии (поставка) и после дополнительной термообработки — сфероидизирующего отжига. Полученные результаты показали, что после отжига металл обладает более высокими пластическими свойствами и структурой зернистого перлита. Образование зернистого перлита свидетельствует о делении пластинок перлита на более мелкие частицы и их дальнейшем округлении. Экспериментально получены значения механических параметров стали после дополнительной циклической термообработки, обеспечивающие процесс гибки прутка в заготовку круглой формы без его разрушения. Предложенный режим сфероидизирующего отжига может применяться для повышения характеристик пластичности металла при формообразовании изделий методом пластического изгиба.

Ключевые слова: пластический изгиб; заготовка; разрушение; структура; пластичность; циклическая термообработка; сталь 30ХГСА.

THE EFFECT OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL 30KHGSA ON THE SHAPING OF ROUND BLANKS USING PLASTIC BENDING

© Dmitry Yu. Magin, Alexander A. Khlybov

R. E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia; e-mail: dmizy@inbox.ru

Received March 2, 2018. Revised April 4, 2018. Accepted April 11, 2018.

The influence of the structure and properties of 30KhGSA steel on the shaping of round-shaped blanks using the method of plastic bending is studied. Bending of the initial steel rod sample results in the sample fracture. Methods of mechanical tests and metallographic analysis used in the study showed that the steel sample in the initial state has a structure of lamellar perlite. A comparative evaluation of the structure and properties of the steel samples prior to and after additional heat treatment (spheroidizing annealing) revealed that annealing enhanced the plastic properties of the sample and changed the sample structure from lamellar to globular perlite. Formation of the granular perlite structure indicates the division of the plates into smaller particles and their further spheroidization due to transferring carbon through the surrounding solid solution. Thus, additional cyclic heat treatment of steel in the state of delivery, allowed us to solve the problem of the rod fracture upon subsequent plastic bending. As a result of the research, the values of the mechanical properties of steel were obtained experimentally, which ensure the process of bending the rod into a round shaped blank without destroying it. The proposed mode of cyclic heat treatment (spheroidizing annealing) can be used to improve the plasticity characteristics of the metal upon shaping by the method of plastic bending.

Keywords: plastic bending; billet; fracture; structure; plasticity; cyclic heat treatment; steel 30KhGSA.

В технологии формообразования заготовок широко используют методы пластической деформации. Они обеспечивают высокую производительность процесса изготовления и необходимое качество изделий [1, 2].

Формообразование методом пластического изгиба основывается на свойстве пластичности используемого металла [3]. При этом пластические характеристики материала зависят от многих факторов: температуры; степени и скорости деформации; схемы напряженного состояния; химического состава; структуры и др.

Пластическая деформация твердых тел происходит в результате смещения атомов по кристаллографическим плоскостям, в которых расположено наибольшее количество атомов. В результате искажения кристаллической решетки — наклепа при деформации в холодном состоянии — свойства кристалла меняются: увеличиваются твердость, прочность, хрупкость, уменьшаются пластичность, вязкость, коррозионная стойкость, электропроводность [2].

Известно, что гибка металла [4] сопровождается неравномерной деформацией отдельных его частей. Так, если изгибать металлический прут, то наружные его слои растягиваются, а внутренние — сжимаются. При больших нагрузках, когда возникшие напряжения превышают предел текучести, в прутке возникают остаточные деформации (после снятия усилия изделие остается изогнутым).

Цель работы — исследование влияния структуры и пластических свойств стали 30ХГСА на процесс формообразования изделия круглой формы методом пластического изгиба.

Механические испытания образцов из стали 30ХГСА на растяжение проводили на универсальной разрывной машине Tinius Olsen ST-10, термическую обработку — в шахтной электропечи «СПЦМ 6.6/9,5», химический анализ — с помощью спектрометра OBLF WSN 750-II (химический состав стали, %: 0,33 C; 1,025 Cr; 1,03 Mr;

1,11 Si). Для измерения твердости использовали твердомер «ТК-1». Микроструктуру исследовали с помощью микроскопа KEYENCE VHX-1000 ($\times 1000$) по стандартной методике [8]. Предварительно полированные образцы травили при комнатной температуре, для чего использовали 4 %-ный раствор азотной кислоты.

Гибку осуществляли на гибочной машине MRP KB-14 при нормальных температурах (холодная деформация). Скорость гибки составляла 40 изделий в минуту. Основные габаритные размеры изделия представлены на рис. 1. В процессе гибки образца (исходное состояние) в изделие круглой формы фиксировали разрушение металла (рис. 2).

Механические характеристики определяли на стандартных образцах [7] в исходном состоянии (поставка) и после циклической термообработки — сфероидизирующего отжига. Режим отжига представлен на рис. 3. Полученные результаты — в таблице и на рис. 4.

Видно, что сталь в исходном состоянии — смесь феррита и пластинчатого перлита, в котором цементит имеет форму тонких пластинок, расположенных слоями в поле феррита. Такая микроструктура характерна для нормализованного состояния.

Результаты механических испытаний на растяжение свидетельствуют о высокой прочности и низкой пластичности металла, которые он приобретает в процессе прокатки. Соответственно, недостаточная пластичность стали в процессе пластического изгиба, выполняемого без дополнительного подогрева, приводит к ее разрушению.

Экспериментальные данные (см. таблицу) по основным показателям пластичности [6] показывают, что сталь после сфероидизирующего отжига более пластична по сравнению с исходным состоянием. Вместе с тем снижение прочности и твердости указывает на то, что прочностные характеристики доэвтектоидной стали с зернистой структурой ниже по сравнению с пластинчатой [3].

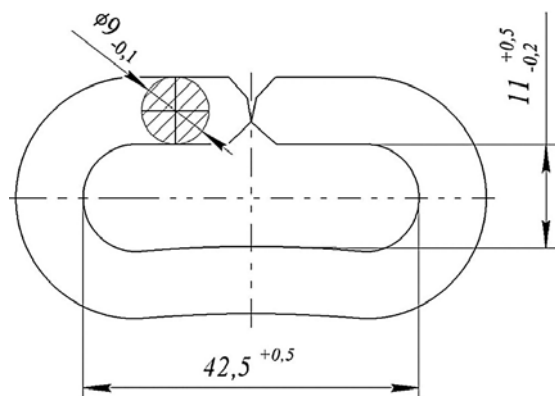


Рис. 1. Основные габаритные размеры изделия

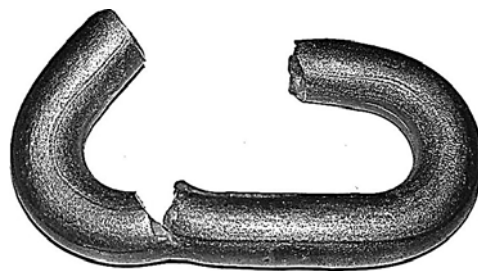


Рис. 2. Вид разрушенного прутка в процессе пластического изгиба в заготовку круглой формы

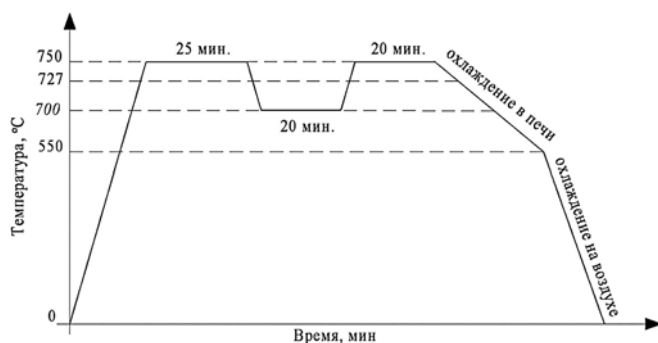


Рис. 3. Режим сфероидизирующего (циклического) отжига

Улучшение пластичности подтверждает гибка образцов, прошедших термическую обработку. При формообразовании в изделие разрушения металла не наблюдали.

Анализируя полученные данные, можно заключить, что микроструктура термообработанной стали — смесь феррита и зернистого перлита. Превращение пластинчатого перлита в зернистый происходит в результате циклического нагрева до примерно 750 (см. рис. 3) и последующего охлаждения до 700 °C (в обоих случаях с выдержкой, рассчитанной по габаритным размерам термообрабатываемого прутка). Это приводит к делению пластинок цементита на более мелкие частицы с дальнейшим их округлением.

В процессе выплавки стали и ее пластической деформации в профиль образца в цементите формируется дислокационная структура с потенциальными местами деления пластинки (субграницами) [9]. Деление цементитных пластинок происходит в наиболее тонких участках, а также в местах выхода субграниц на межфазовую поверхность раздела цементит – аустенит [5].

В месте выхода субграниц неуравновешенность сил поверхностного натяжения вызывает локальное растворение цементита (до такой степени, пока силы не уравниваются), которое, в свою очередь, приводит к образованию остроугольных канавок. Развиваясь, они перерезают пластинку, тем самым разделяя ее.

Растворимость цементитной пластинки зависит от радиуса кривизны и ее поверхности, и та-

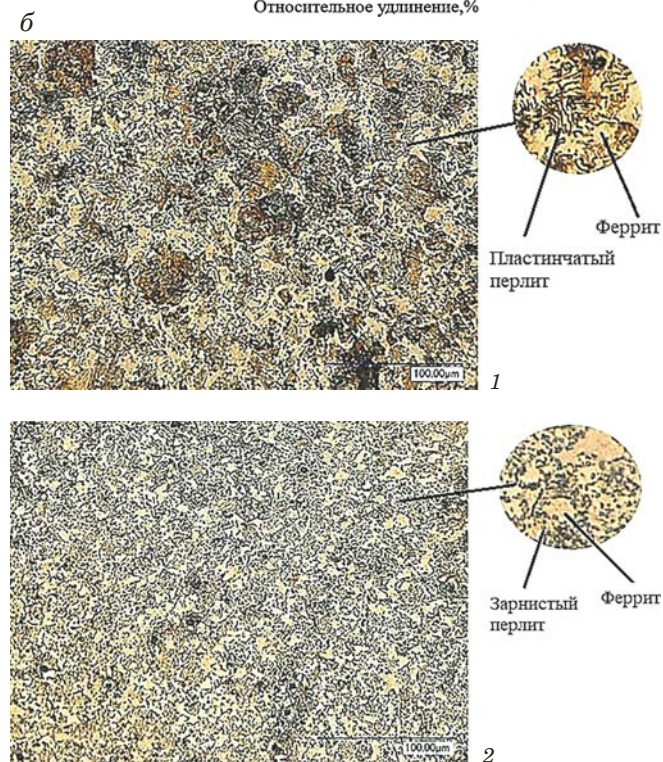
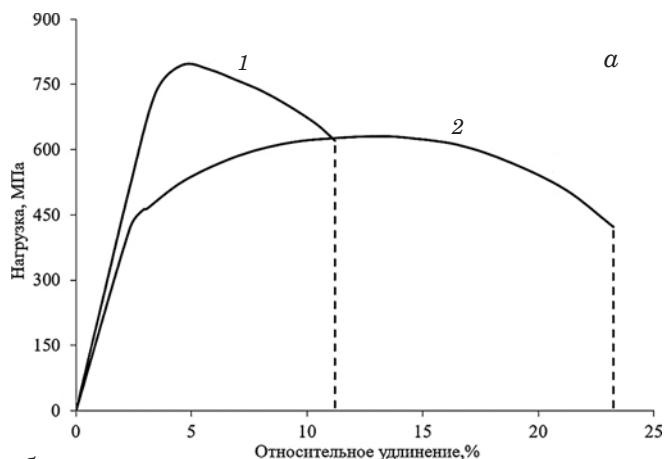


Рис. 4. Зависимости относительного удлинения от приложенной нагрузки (а) и микроструктуры (б) образцов в исходном состоянии (1) и после термической обработки (2)

кая зависимость описывается уравнением Томсона – Фрейдлиха:

$$\ln(C_r/C_\infty) = (2\gamma V)/(kT_r),$$

где C_r , C_∞ — концентрации раствора около межфазной границы с радиусом r и около плоской границы; γ — поверхностная энергия на границе

Механические параметры образцов стали 30ХГСА

Состояние образца	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление σ_b , МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Твердость, НВ
Исходное	758	795	11,2	26	200 – 220
После термической обработки	439	631	23,4	48	150

фаз; V — атомный объем; kT — энергия теплового движения частиц.

Видно, что чем меньше радиус кривизны поверхности цементитной пластины, тем выше равновесная концентрация раствора около нее. У выпуклых стенок канавок в цементите концентрация углерода в аустените будет больше, чем около остальной плоской поверхности пластины.

После деления образовавшиеся мелкие частицы цементитных пластинок подвергаются процессу округления.

По границе частиц с малым радиусом кривизны концентрация углерода в аустените повышена. В результате выравнивания состава внутри аустенита его концентрация на участках субгранулы с большим радиусом кривизны, где аустенит пересыщается и выделяет цементит, растет. Одновременно концентрация углерода в аустените по границе частиц уменьшается, что приводит к их растворению. В итоге растворение цементита на участках с меньшим радиусом кривизны и выделение его в местах с большим радиусом ведет к округлению частиц.

Округление частиц цементита [5] приводит к образованию зернистой структуры стали и, как следствие, более высоким ее пластическим свойствам.

Таким образом, дополнительная циклическая термообработка высокопрочной стали 30ХГСА (сфероидизирующий отжиг) значительно улучшает ее пластические свойства при незначительном снижении прочностных характеристик, что достигается формированием после отжига зернистой структуры перлита (в отличие от пластинчатой в исходном состоянии). При этом механические характеристики металла позволяют осуществлять гибку стального прутка в заготовку круглой формы методом пластического изгиба без его разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов Ю. М., Бекренев Л. Л., Дурнев В. Д., и др. Основы отраслевых технологий и организации производства. — СПб.: Политехника, 2002. — 312 с.
2. Фетисов Г. П., Карпман М. Г., Матюнин В. М. и др. Материаловедение и технология металлов. — М.: Высшая школа, 2000. — 638 с.
3. Плошкин В. В. Материаловедение — М.: Юрайт, 2015. — 463 с.
4. Беляков В. И., Резниченко Н. К., Мовшович А. Я. и др. Формообразование деталей методом пластического изгиба: сб. науч. тр. / Харьковский университет воздушных сил. — Харьков: АНПРЖ, ХНУРЭ, 2011. — 316 с.
5. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. — М.: Металлургия, 1986. — 480 с.
6. Двоеглазов Г. А. Материаловедение — Ростов-на-Дону: Феникс, 2015. — 445 с.
7. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. — М.: Изд-во стандартов, 1984. — 26 с.
8. ГОСТ 8233–56. Сталь. Эталоны микроструктуры. — М.: Изд-во стандартов, 1956. — 12 с.
9. Счастливцев В. М., Мирзаев Д. А., Яковлева И. Л. и др. Перлит в углеродистых сталях. — Екатеринбург: УрО РАН, 2006. — 312 с.

REFERENCES

1. Anosov Yu. M., Bekrennev L. L., Durnev V. D., et al. Fundamentals of industry technologies and production organization. — St. Petersburg: Politehnika, 2002. — 312 p. [in Russian].
2. Fetisov G. P., Karpman M. G., Matyunin V. M., et al. Materials Science and Technology of Metals. — Moscow: Vysshaya shkola, 2000. — 638 p. [in Russian].
3. Ploshkin V. V. Materials Science. — Moscow: Yurait, 2015. — 463 p. [in Russian].
4. Belyakov V. I., Reznichenko N. K., Movshovich A. Ya., et al. Molding of parts by the method of plastic bending: collection of scientific works / Kharkov airforce university. — Kharkov: ANPRZh, KnNURE, 2011. — 316 p. [in Russian].
5. Novikov I. I. Theory of heat treatment of metals. — Moscow: Metallurgiya, 1986. — 480 p. [in Russian].
6. Dvoeglazov G. A. Materials Science. — Rostov-on-Don: Feniks, 2015. — 445 p. [in Russian].
7. State Standard GOST 1497–84. Metals. Methods of tension test. — Moscow: Izd. standartov, 1984. — 26 p. [in Russian].
8. State Standard GOST 8233–56. Steel. Microstructure standards. — Moscow: Izd. standartov, 1956. — 12 p. [in Russian].
9. Schastlivtsev V. M., Mirzaev D. A., Yakovleva I. L., et al. Perlite in carbon steels. — Yekaterinburg: UrO RAN, 2006. — 312 p. [in Russian].