



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР

(51) 5 C 21 D 7/00

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4180590/23-02

(22) 12.01.87

(46) 30.03.90. Бюл. № 12

(71) Всесоюзный заочный машиностроительный институт

(72) Б.А. Прусаков, А.И. Сурин, Л.М. Рыбакова, Е.И. Тронза, Ю.А. Резников и С.Д. Громаковский

(53) 621.785.79(088.8)

(56) Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1977, с. 83.

Щербак А.М., Романов А.Н. Сопротивление малоцикловому деформированию и разрушению малоуглеродистых сталей при повышенных температурах в связи с эффектом старения. - Сб. "Структурные факторы малоциклового разрушения металлов". М.: Наука, 1977, с. 51-64.

(54) СПОСОБ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Изобретение относится к черной и цветной металлургии, в частности, к практическому деформированию металлов растяжением и сжатием, однократным нагружением при нормальной темпе-

ратуре. Целью изобретения является повышение пластических свойств материалов и конструкционной прочности в условиях действия растягивающих направлений. Образец подвергают холодному пластическому деформированию растяжением. После растяжения осуществляют деформацию сжатием. При этом деформирование растяжением проводят в пределах стадии деформационного упрочнения, а сжатием - в направлении, противоположном растяжению до остаточных деформаций, соответствующих первой стадии деструкции, определяемой при испытании недеформированного материала. Образец из ст. 30 подвергают деформации растяжением до остаточной деформации 23%, а затем дополнительно сжатием в направлении, противоположном растяжению, на величину остаточной деформации 12% и подвергают испытанию одноосным статическим растяжением. При этом пластичность повышается δ с 17 до 27%, ψ с 42 до 47%. 6 ил.

Изобретение относится к черной и цветной металлургии, в частности к пластическому деформированию металлов растяжением и сжатием однократным нагружением при нормальной температуре.

Цель изобретения - повышение пластических свойств материалов и конструкционной прочности в условиях действия растягивающих напряжений.

Деформирование одноосным статическим растяжением проводится до любой

остаточной деформации, соответствующей стадии деформационного упрочнения в пределах от ϵ_T или $\epsilon_{0.2}$ до ϵ_b (от площадки текучести до начала локализации деформации и появления шейки). Деформирование ниже или выше интервала $\epsilon_T - \epsilon_b$ нецелесообразно, так как при $\epsilon < \epsilon_T$ происходит только упругая деформация, которая полностью устраняется после снятия нагрузки и, следовательно, не приводит к упрочне-

нию. При $\varepsilon > \varepsilon_0$ пластическая деформация локализуется в небольшом объеме (шейке), что делает невозможным ее использование для упрочнения детали по всей длине (фиг. 1).

Величина остаточной деформации при сжатии не является произвольной. Она выбирается на основе разработанного метода пластически-деструкционного анализа, позволяющего проводить оценку повреждаемости (деструкции) материала. В соответствии с ним по кривой сжатия стрится деструкционная диаграмма, представляющая зависимость истинного напряжения течения S от остаточной деформации $\varepsilon^{1/2}$. По диаграмме определяются деформация деструкции и деформация начала потери устойчивости пластического течения материала (точки D_1 и D_2) на участке деформационного упрочнения при сжатии. Пластическое деформирование при сжатии проводят до остаточной деформации в пределах от ε_{D_1} до ε_{D_2} . Деформирование сжатием до $\varepsilon < \varepsilon_{D_1}$ приводит при последующем испытании растяжением к менее заметному снижению прочностных свойств по сравнению с упрочнением, достигнутым при предварительном растяжении, однако пластичность при этом получается существенно ниже. Деформирование сжатием до $\varepsilon > \varepsilon_{D_2}$ уже не приводит к повышению пластичности при последующем испытании растяжением, а в отдельных случаях даже приводит к ее снижению из-за интенсивного развития повреждаемости на стадии потери устойчивости пластического течения (фиг. 2).

Повышение пластичности при ограничении деструкционных характеристик в указанных пределах объясняется следующими причинами. В точке деструкции D_2 возникает такая повреждаемость, которая начинает оказывать влияние на поведение твердого тела в целом, причем с увеличением остаточной деформации выше этой точки доля деструкционных процессов в общей деформации возрастает. Возникает ансамбль микротрещин, расположенных достаточно однородно в объеме тела. В точке D_2 производит новый этап развития повреждаемости, который заключается во взаимодействии этих трещин между собой, слиянии некоторых из них, что в конечном счете приводит к появлению магистральной трещины. В случае приме-

нения схемы сжатие + растяжение (при окончательной деформации растяжением 3,8%) на поверхности образца отчетливо наблюдаются микротрещины, при этом резко изменяется профиль поверхности, т.е. для изделий, работающих в условиях действующих напряжений растяжения, обработка по такому циклу является неблагоприятной: она естественно приводит к снижению пластичности.

В случае предварительного деформирования по схеме растяжение + сжатие (при окончательной деформации 3,8%) на поверхности образца уже практически не наблюдаются микротрещины (происходит их залечивание) и ее профиль близок к исходному. Такая обработка является благоприятной, поскольку она не приводит к возникновению повышенной повреждаемости. Процессы залечивания трещин наблюдаются и при рекристаллизационном отжиге деформированного материала, но только в том случае, когда процессы деструкции развиваются только в указанных интервалах деформирования. Выход за верхний предел этих ограничений приводит к необратимым структурным изменениям, что является причиной снижения характеристик пластичности.

При холодном пластическом деформировании растяжением на стадии деформационного упрочнения прочность металла возрастает, а пластичность понижается, при этом отношение $\sigma_{0.2}/\sigma_s$, характеризующее ресурс пластичности, стремится к единице. При последующем деформировании сжатием в пределах $\varepsilon_{D_1} - \varepsilon_{D_2}$ временное сопротивление металла несколько понижается по сравнению с предварительным растяжением, в то время как предел текучести и отношение $\sigma_{0.2}/\sigma_s$ уменьшаются намного сильнее, а относительное удлинение и сужение поперечного сечения возрастают, что свидетельствует о повышении ресурса пластичности металла и, следовательно, конструкционной прочности изделий.

Проведенные исследования показали, что аналогов предлагаемому способу обработки нет.

Пример 1. Отожженную сталь 30 испытывали одноосным статическим сжатием: определили интервал деформаций, в котором происходит развитие деструкционных процессов и сохраняется устойчивость пластического тече-

ния. Он оказался в пределах 9-13% остаточной деформации. Группу образцов подвергли пластическому деформированию одноосным статическим растяжением до остаточной деформации 23%, соответствующей концу стадии деформационного упрочнения (точка В на диаграмме растяжения). Другую группу образцов продеформировали точно так же растяжением, а затем дополнительно сжатием в направлении, противоположном растяжению, на величину остаточной деформации 12%, находящуюся в указанном интервале. После этого все образцы, включая сталь в исходном состоянии, испытали одноосным статическим растяжением.

Механические свойства представлены в таблице.

Анализ результатов испытаний показал, что деформирование стали 30 на 23% (таблица, пункт 2) приводит к резкому упрочнению отожженной стали и снижению ее пластичности: $\sigma_{0,2}$ возрастает с 390 до 690 МПа, σ_B - с 570 до 690 МПа, при этом $\sigma_{0,2}/\sigma_B = 1$; δ понижается с 44 до 17%, а ψ - с 52 до 42%.

Деформирование сжатием на 12% (в пределах установленного интервала) после растяжения на 23% (таблица, пункт 4) приводит к снижению $\sigma_{0,2}$ с 690 до 490 МПа, а σ_B - с 690 до 600 МПа, одновременно существенно повышаются характеристики пластичности: δ - с 17 до 27%; ψ - с 42 до 47%; изменяется вид диаграммы нагрузка - деформация по сравнению с диаграммой стали, упрочненной только растяжением: диаграмма удлиняется, на ней появляются две стадии, характеризующие пластическое течение (фиг. 3). При этом резко возрастает ресурс пластичности стали и конструкционная прочность изделий, о чем свидетельствует заметное снижение отношения $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ (до 0,8). Кроме того, если сопоставить результаты, полученные после обработки по оптимальным параметрам (таблица, пункт 4), со свойствами отожженной и деформированной только растяжением стали, то можно отметить, что эффект повышения пластичности еще более значителен, при этом прочностные характеристики получаются выше, чем в отожженном состоянии.

Деформирование сжатием с остаточными деформациями ниже или выше ус-

тановленного интервала не позволяют получить такие результаты: оно приводит к более низким значениям пластичности. Действительно, если деформация сжатием составляет 5%, т.е. ниже нижнего предела установленного интервала (таблица, пункт 3), то в этом случае относительное удлинение составляет 20% по сравнению с 27%, а поперечное сужение - 44% по сравнению с 47%. При этом ресурс пластичности и конструкционная прочность также уменьшаются, о чем свидетельствует повышение отношения $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ до 0,9. Если же деформация стали составляет 16%, т.е. она выше верхнего предела установленного интервала (табл., пункт 5), то и в этом случае характеристики пластичности получаются ниже: $\delta = 23%$ по сравнению с 27% и $\psi = 40%$ по сравнению с 47%.

Таким образом, растяжение конструкционной стали в пределах участка деформационного упрочнения и последующее сжатие в пределах от деформации деструкции до начала потери устойчивости пластического течения материала приводит к одновременному повышению пластичности и конструкционной прочности стали.

Пример 2. В качестве базового объекта выбрана втулка шарнирно-болтового соединения, изготавливаемая из алюминиевой бронзы Бр АЖН 10-4-4 и Бр АЖМ 10-3-1,5. Условия эксплуатации втулки предполагают возникновение в ней напряжений растяжения в направлении продольной оси, которые в пределе приводят к ее разрушению, т.е. на последнем этапе работа детали контролируется растягивающими усилиями. Учитывая то обстоятельство, что фактически все упрочняющие обработки приводят одновременно к снижению пластичности, то для условий действия в детали растягивающих напряжений это существенно затрудняет, а часто даже исключает возможность применять для этой цели такие способы упрочнения, как холодная пластическая деформация. В этих случаях эффективным является предлагаемый способ одновременного повышения при холодной пластической деформации как прочности, так и пластичности, что в конечном счете приводит к увеличению конструкционной прочности детали.

С этой целью обработку нужно вести в следующей последовательности.

В соответствии со штатным технологическим процессом втулка вытачивается из холодноотянутой трубы с повышенным комплексом механических свойств: $\sigma_b \geq 650$ МПа, $\delta \geq 5\%$. Указанные свойства получают в результате холодной пластической деформации исходной цилиндрической заготовки со степенями деформации растяжением $\varepsilon \approx 40\%$, т.е. в исходном материале холодноотянутой трубы реализуется первый этап упрочнения материала растяжением: упрочнение в области деформаций, исключая их локализацию с образованием шейки.

Следующая операция изготовления детали предусматривает вырезку из трубы цилиндрической заготовки (фиг.4) с высотой $t_{\varepsilon D_2}$, определяемой предельной степенью деформации сжатием в области от деформации деструкции до начала потери устойчивости пластического течения материала по формуле

$$t_{\varepsilon D_2} = (1 + \varepsilon) \cdot t_{\varepsilon K},$$

где ε — степень деформации сжатием;

$t_{\varepsilon K}$ — высота заготовки после сжатия.

Полученная заготовка высотой $t_{\varepsilon D_2}$ подвергается осадке на прессе до высоты $t_{\varepsilon K}$, т.е. реализуется второй этап деформирования детали сжатием с деформациями в интервале от деформации

деструкции до начала потери устойчивости пластического течения (фиг.5).

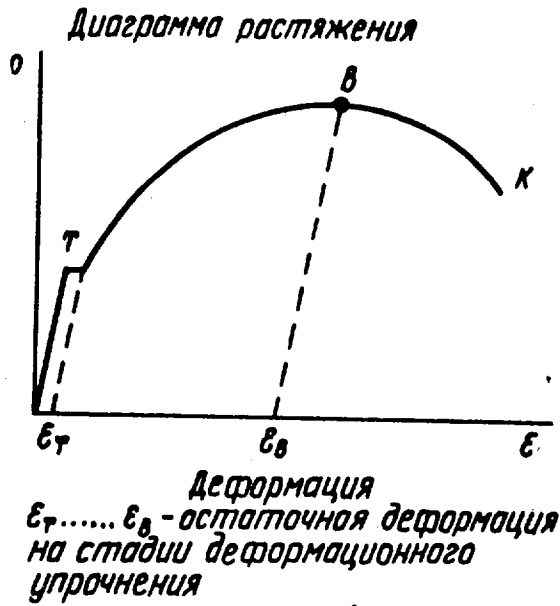
Из полученной заготовки вытачивается деталь (втулка) в соответствии с требованиями фиг. 6.

По предлагаемой технологии изготовлено 5 втулок шарнирно-болтового соединения и проведены их испытания на лабораторном стенде с целью проверки эффективности предлагаемого способа. Оценка остаточных деформаций по сравнению со штатными изделиями показала преимущественно упрочненных по предлагаемой технологии втулок не менее, чем на 20% по остаточной деформации при одновременном повышении напряжения течения не менее, чем на 15%.

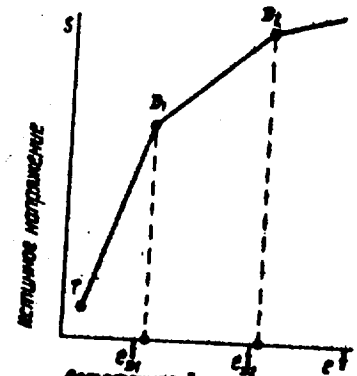
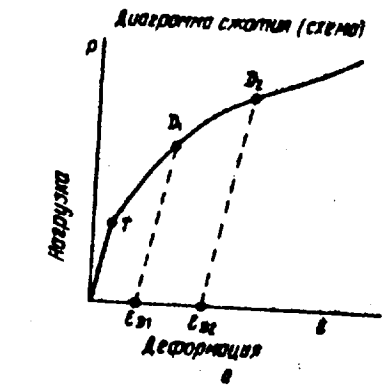
Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Способ обработки металлических материалов, включающий однократное холодное пластическое деформирование в пределах стадии деформационного упрочнения растяжением с последующим сжатием, отличающийся тем, что, с целью повышения пластических свойств материалов и конструкционной прочности в условиях действия растягивающих напряжений, сжатие проводят с деформациями, превышающими деформацию деструкции, но не выше деформации начала потери устойчивости пластического течения материала.

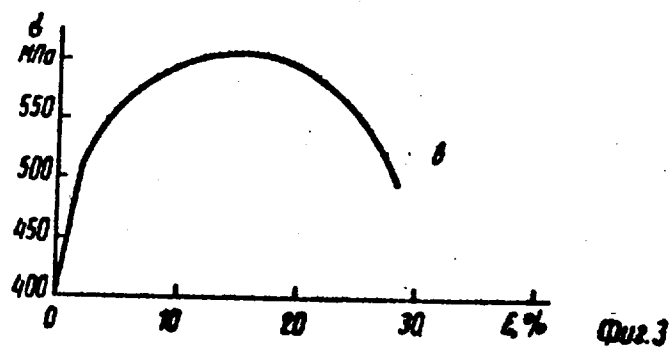
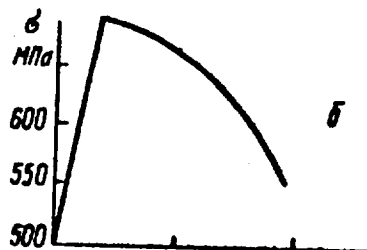
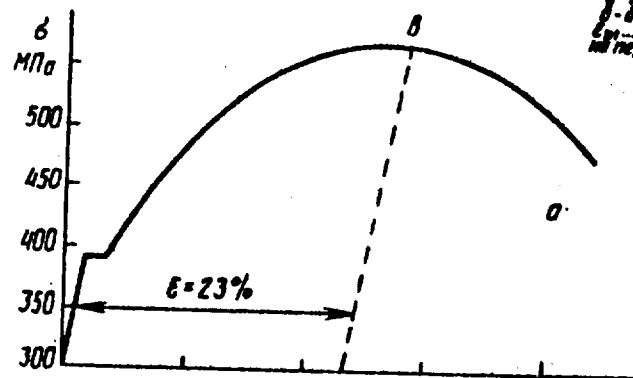
№ п/п	Степень предварительной деформации, %		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	$\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_b}$
	ε растяж.	ε сжатия					
1	0	0	390	570	44	52	0,7
2	23	0	690	690	17	42	1,0
3	23	5	610	670	20	44	0,9
4	23	12	490	600	27	47	0,8
5	23	16	480	590	23	40	0,8



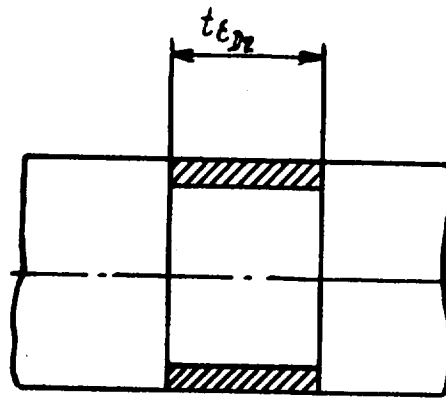
Фиг.1



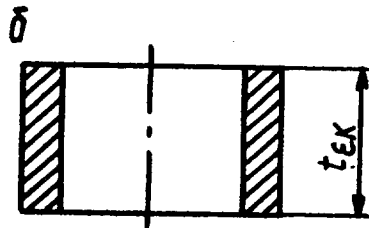
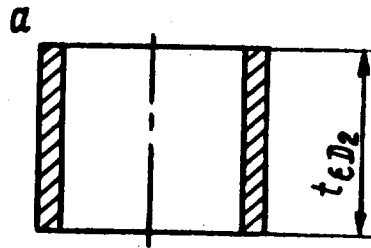
остаточная деформация δ
 δ - кривая сжатия;
 δ - деформационное упрочнение;
 $\epsilon_{T1} \dots \epsilon_{B1} \dots \epsilon_{K1}$ - остаточная деформация
 на первой стадии деформации Фиг.2



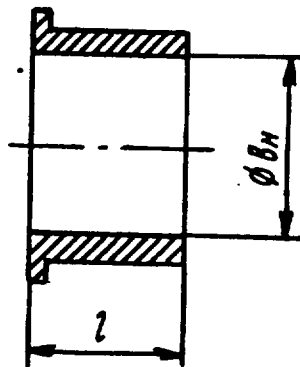
Фиг.3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

Редактор Н. Киштулинец Составитель А. Орешкина
 Техред А. Кравчук Корректор Н. Ревская

Заказ 437 Тираж 503 Подписное
 ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101