

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет»
(Астраханский государственный университет)

Кафедра английской филологии

Письменный перевод

по книге Mechanical Properties and Working of Metals and
Alloys

название книги на иностранном языке

выходные данные Springer Nature Singapore Pte
Ltd. 2018

перевод стр. с 417 по 421

для сдачи кандидатского экзамена
по иностранному языку
(английскому)

Выполнил:
Нугманов Руслан Рафаэлевич
Кафедра материаловедения и технология
сварки

Астрахань – 2021 г.

<p>10.2 Temperature and Strain Rate</p> <p>On the basis of the working temperature, forming operations are commonly divided into hot working and cold working.</p> <p>Hot working is defined as the plastic deformation carried out under such conditions of temperature and strain rate that recrystallization occurs as the work-piece is deformed and the strain hardening caused by the working operation is relieved instantaneously, whereas cold working is the plastic deformation under such conditions of temperature and strain rate that recrystallization does not take place during the working operation and the strain hardening caused by deformation is not relieved.</p> <p>Since the effect of the increase in temperature on the strength and ductility properties of a material is opposite to that due to increasing strain rate and both temperature and strain rate can vary during the working operations, so</p>	<p>10.2 Температура и скорость деформации.</p> <p>В зависимости от рабочей температуры операции формовки обычно делятся на горячую и холодную обработку.</p> <p>Горячая обработка определяется как пластическая деформация, выполняемая при таких условиях температуры и скорости деформации, при которых происходит рекристаллизация, когда заготовка деформируется, и деформационное упрочнение, вызванное рабочей операцией, мгновенно снимается, тогда как холодная обработка – это пластическая деформация при таких условиях температуры и скорости деформации, при которых рекристаллизация не происходит во время рабочей операции и деформационное упрочнение, вызванное деформацией, не снимается.</p> <p>Поскольку влияние повышения температуры на свойства прочности и пластичности материала противоположно влиянию увеличения скорости деформации, и температура, и скорость деформации</p>
---	--

<p>both parameters are always included in the definitions of hot or cold working to consider their joint effects.</p> <p>From the above definitions, it can be stated in a simple manner that the plastic deformation of a material above its recrystallization temperature is hot working, whereas that below its recrystallization temperature is cold working.</p> <p>The temperature at which a heavily cold-worked material completely recrystallizes is called its recrystallization temperature, T_R, which is roughly estimated from its melting temperature, T_M, measured in Kelvin and approximately given by T_R (in K) \approx $(0.4-0.6) \times T_M$ (in K).</p> <p>Hence, the higher the melting point of metal, the higher is the recrystallization temperature, provided other factors affecting T_R remains the same.</p>	<p>могут изменяться во время рабочих операций, оба параметра всегда включаются в определения горячего состояния или холодной обработка, чтобы рассмотреть их совместные эффекты.</p> <p>Из приведенных выше определений можно заявить, что пластическая деформация материала выше его температуры рекристаллизации является горячей обработкой, тогда как деформация ниже температуры рекристаллизации - холодной обработкой.</p> <p>Температура, при которой сильно холоднодеформированный материал полностью рекристаллизуется за 1 час, называется его температурой рекристаллизации, T_R, которая оценивается по температуре плавления T_M, измеренной в Кельвинах и приблизительно выраженной как T_R (в К) \approx $(0,4 - 0,6) \times T_M$ (в К).</p> <p>Следовательно, чем выше температура плавления металла, тем выше температура рекристаллизации, при условии, что другие факторы, влияющие на T_R, остаются неизменными.</p>
---	---

<p>Since lead and tin are low-melting metals and they recrystallize rapidly at room temperature after large deformation, so the room temperature working of these metals constitutes hot working.</p> <p>On the other hand, working of tungsten (a high-melting metal) at 1100 °C, which is in hot-working range for steel, constitutes cold working, because T_R for tungsten is above 1100 °C.</p> <p>Dividing line between the hot and cold working operations is explained below and illustrated in Fig. 10.10, which is a schematic diagram of hardness versus working temperature showing the effect of strain rate.</p> <p>When a material is plastically deformed, its hardness tends to increase because of strain hardening, but as the deformation temperature increases the rate of strain hardening decreases, and at some critical temperature, recrystallization</p>	<p>Поскольку свинец и олово являются легкоплавкими металлами и они быстро рекристаллизуются при комнатной температуре после большой деформации, поэтому обработка этих металлов при комнатной температуре представляет собой горячую обработку.</p> <p>С другой стороны, обработка вольфрама (тугоплавкого металла) при 1100 °C, который находится в диапазоне горячей обработки стали, представляет собой холодную обработку, потому что T_R для вольфрама выше 1100 °C.</p> <p>Разделительная линия между операциями горячей и холодной обработки поясняется ниже и проиллюстрирована на рисунке 10.10, который представляет собой схематическую диаграмму зависимости твердости от рабочей температуры, показывающую влияние скорости деформации.</p> <p>Когда материал пластически деформируется, его твердость имеет тенденцию к увеличению из-за деформационного упрочнения, но с увеличением температуры деформации скорость</p>
--	--

<p>takes place, which makes the material softer.</p> <p>Thus, during plastic deformation of a material at some critical temperature, two opposing effects act simultaneously on the material — a hardening effect due to plastic deformation and a softening effect due to recrystallization, and the former effect decreases, while the latter effect increases with increase in temperature.</p> <p>For a given rate of deformation, there must be some temperature at which the rate of hardening is exactly equal to that of softening.</p> <p>Deformation of the material above this temperature is called hot working, while that below this temperature is called cold working.</p> <p>When these two opposing effects just balance, the material can be plastically deformed continuously without causing the deformation load to increase.</p>	<p>деформационного упрочнения снижается, и при некоторой критической температуре происходит рекристаллизация, которая делает материал более мягким.</p> <p>Таким образом, во время пластической деформации материала при некоторой критической температуре на материал одновременно действуют два противоположных эффекта - эффект упрочнения из-за пластической деформации и эффект разупрочнения из-за рекристаллизации, причем первый эффект уменьшается, а второй эффект увеличивается с увеличением температуры.</p> <p>Для данной скорости деформации должна быть некоторая температура, при которой скорость упрочнения в точности равна скорости разупрочнения.</p> <p>Деформация материала выше этой температуры называется горячей обработкой, а деформация ниже этой температуры - холодной обработкой.</p> <p>Когда эти два противоположных эффекта просто уравниваются, материал может непрерывно пластически деформироваться, не</p>
---	--

<p>If the strain rate is increased, the deformation temperature will have to be increased to such an extent that the increase in the hardening rate is balanced by the increase in the softening rate.</p> <p>Thus, hot working temperature in case of rapid rate of working, such as hammer forging, is higher than that for slow rate of working like press forging, as shown Fig. 10.10.</p> <p>10.2.1 Cold-Work-Anneal Cycle</p> <p>Crystalline materials in the unstrained condition consist of equiaxed grains and exhibit isotropic mechanical properties; i.e., the same properties are exhibited in all directions.</p> <p>When a single-phase structure having one kind of grains is cold worked, the randomly oriented equiaxed grains will be deformed and preferably oriented in the direction of flow of material and produce elongated grains that will result in anisotropic or directional mechanical</p>	<p>вызывая увеличения деформационной нагрузки.</p> <p>Если скорость деформации увеличивается, температуру деформации необходимо повысить до такой степени, чтобы увеличение скорости упрочнения и разупрочнения были равны.</p> <p>Таким образом, температура горячей обработки в случае высокой скорости обработки, такой как ковка молотком, выше, чем температура при низкой скорости обработки, такой как ковка прессом, как показано на рис. 10.10.</p> <p>10.2.1 Цикл холодной обработки-отжига</p> <p>Кристаллические материалы в недеформированном состоянии состоят из равноосных зерен и обладают изотропными механическими свойствами, т.е. одни и те же свойства проявляются во всех направлениях.</p> <p>Когда однофазная структура, имеющая один вид зерен, подвергается холодной деформации, случайно ориентированные равноосные зерна будут деформироваться и предпочтительно ориентироваться в направлении</p>
--	---

<p>properties; i.e., properties will vary with the direction of testing.</p>	<p>потока материала и образовывать удлиненные зерна, что приведет к анизотропным или направленным механическим свойствам, т.е. свойства будут меняться в зависимости от направления тестирования.</p>
<p>At very high amount of cold working, the grains will be so elongated that the structure appears fibrous.</p>	<p>При очень сильной холодной обработке зерна будут настолько удлиненными, что структура будет казаться волокнистой.</p>
<p>Further, cold working produces an increase in the dislocation density; for example, a heavily cold-worked metal contains about 10^{10} number of dislocations per mm^2, while in fully annealed condition it contains about 10^4–10^6 dislocations per mm^2.</p>	<p>Кроме того, холодная обработка приводит к увеличению плотности дислокаций, например, в сильно холоднодеформированном металле содержится около 10^{10} дислокаций на мм^2, а в полностью отожженном состоянии - около 10^4–10^6 дислокаций на мм^2.</p>
<p>The duplex structure consisting of a soft and ductile phase and a hard and brittle phase behaves in a similar manner on cold working except that the grains of hard and brittle phase will tend to break into fragments.</p>	<p>Дуплексная структура, состоящая из мягкой и вязкой фазы, а также твердой и хрупкой фазы, ведет себя аналогичным образом при холодной обработке, за исключением того, что зерна твердой и хрупкой фазы будут иметь тенденцию к разрыву на фрагменты.</p>
<p>These fragmented grains will appear as stringers, which will be preferably oriented in the direction of flow of</p>	<p>Эти фрагментированные зерна будут иметь вид стрингеров, которые предпочтительно будут</p>

<p>material, i.e. in the longitudinal direction.</p> <p>The mechanical properties of a duplex structure will tend to exhibit more anisotropy than those of a single-phase structure.</p> <p>As a result of cold working, the ductility of a material drops to a very low value, whereas the hardness, UTS and yield strength all increase to a maximum value, which is practically found to be about 2.5–3 times the values of those in the annealed (softest) condition.</p> <p>The notched-bar Charpy or Izod impact toughness rises with cold working up to a maximum and then gradually falls (Harris 1983).</p> <p>If a material is continuously subjected to excessive cold working, it will break before it acquires the desired shape and dimension.</p> <p>So, to achieve the required shape and size of the final product without any crack, cold working operations are normally interrupted and carried out</p>	<p>ориентированы в направлении потока материала, то есть в продольном направлении.</p> <p>Механические свойства дуплексной структуры будут проявлять большую анизотропию, чем свойства однофазной структуры.</p> <p>В результате холодной обработки пластичность материала падает до очень низкого значения, тогда как твердость, предел прочности и предел текучести возрастают до максимального значения, которое практически в 2,5–3 раза превышает значения в отожженном (самое мягкое) состояние.</p> <p>Ударная вязкость по Шарпи или Изоду с надрезом возрастает при холодной обработке до максимума, а затем постепенно падает (Harris, 1983).</p> <p>Если материал постоянно подвергается чрезмерной холодной обработке, он сломается, прежде чем приобретет желаемую форму и размер.</p> <p>Таким образом, для достижения требуемой формы и размера конечного продукта без каких-либо трещин, операции холодной</p>
---	---

<p>repeatedly in several steps, with introduction of intermittent recrystallization annealing treatments applied for several times between steps of cold working.</p> <p>This sequence of repeated cold working and annealing is frequently called the cold-work-anneal cycle.</p> <p>The changes in mechanical properties and microstructure involved in this cycle are schematically illustrated in Fig. 10.11 (Smith 1969), in which the three stages of annealing, viz. recovery, recrystallization and grain growth, are shown to occur progressively with increase of annealing temperature, assuming specific constant annealing time at each temperature.</p> <p>It is to be noted that the driving forces for both recovery and recrystallization are the release of stored strain energy, which resulted from dislocation interaction leading to a higher state of internal stress during the process of cold work, whereas the driving force for grain growth is the decrease in surface</p>	<p>обработки обычно прерывают и проводят многократно в несколько этапов с введением обработок периодическим рекристаллизационным отжигом, применяемых несколько раз между этапами холодной обработки.</p> <p>Эту последовательность повторяющихся холодной обработки и отжига часто называют циклом холодная обработка-отжиг.</p> <p>Изменения механических свойств и микроструктуры, вовлеченные в этот цикл, схематически проиллюстрированы на рис. 10.11 (Smith 1969), на котором три стадии отжига, а именно, восстановление, рекристаллизация и рост зерна, как показано, происходят постепенно с увеличением температуры отжига, предполагая постоянное время отжига при каждой температуре.</p> <p>Следует отметить, что движущими силами, как восстановления, так и рекристаллизации является высвобождение накопленной энергии деформации в результате взаимодействия дислокаций, приводящее к более высокому состоянию внутреннего напряжения в</p>
---	---

<p>energy since grain-boundary area per unit volume decreases with an increase in grain size.</p>	<p>процессе холодной обработки, тогда как движущей силой роста зерна является уменьшение поверхностной энергии, поскольку площадь границ зерен на единицу объема уменьшается с увеличением размера зерна.</p>
<p>The recrystallization annealing treatment, also known as process annealing or process and recrystallization annealing treatment, consists in heating a cold-worked material above its recrystallization temperature, T_R, holding for proper time (generally 1 h for 1 in. thickness or diameter of the work-piece) and then cooling by any desired rate.</p>	<p>Обработка рекристаллизационным отжигом, также известная как технологический отжиг или обработка рекристаллизационным отжигом, заключается в нагревании холоднодеформированного материала выше его температуры рекристаллизации T_R и выдержке в течение определенного времени (обычно 1 час на 1 дюйм толщины или диаметра заготовки), а затем охлаждение с любой желаемой скоростью.</p>
<p>It is important to mention here that a minimum percentage of prior cold work, known as the critical amount of cold work, of the order of around 5–7% for most materials, is necessary for recrystallization to occur on heating.</p>	<p>Здесь важно отметить, что минимальный процент предварительной холодной обработки, известный как критическое количество холодной обработки, порядка 5-7% для большинства материалов, необходим для того, чтобы рекристаллизация происходила при нагреве.</p>
<p>The purpose of the recrystallization</p>	<p>Целью обработки с</p>

<p>annealing treatment is to soften the cold-worked material and restore the ductility so that the work-piece can be further cold worked without formation of any crack.</p> <p>This heat treatment does not cause any phase change but is associated with the microstructural change that involves the formation of new strain-free randomly oriented equiaxed grains by replacement of the previous strain-hardened preferably oriented elongated grains with a high density of crystal imperfections produced by prior cold working operation.</p> <p>The end result of this treatment is a restoration of ductile microstructure with a low dislocation density of the order of 10^4–10^6 dislocations per mm^2, which is again capable of undergoing significant cold deformation.</p>	<p>рекристаллизационным отжигом является размягчение холоднодеформированного материала и восстановление пластичности, так что заготовку можно подвергать дальнейшей холодной обработке без риска образования трещин.</p> <p>Эта термообработка не вызывает каких-либо фазовых изменений, но связана с изменением микроструктуры, которое включает образование новых свободных от деформаций случайно ориентированных равноосных зерен путем замены ранее упрочненных деформацией, предпочтительно ориентированных удлиненных зерен с высокой плотностью кристаллических дефектов, образованных за счет предварительной холодной обработки.</p> <p>Конечным результатом такой обработки является восстановление пластичной микроструктуры с низкой плотностью дислокаций порядка 10^4–10^6 дислокаций на мм^2, которая снова может подвергаться значительной холодной деформации.</p>
---	--

<p>Although the requirement for intermediate annealing increases the cost of cold forming, especially for reactive materials which need inert environment or vacuum for annealing, at the same time suitable adjustment of the cold-work-anneal cycle can produce a part with any desired degree of strain hardening, which cannot be achieved by hot working operations.</p> <p>If the finished product is desired to be in the softened condition, the final operation must be recrystallization annealing that will follow the last cold working step required to provide the desired size and shape.</p> <p>In this case, the aim will be to obtain fine recrystallized grains in order to have good toughness; otherwise, the toughness will decrease if the finished product is heated to the grain growth stage.</p>	<p>Хотя требование промежуточного отжига увеличивает стоимость холодной штамповки, особенно для реактивных материалов, которым требуется инертная среда или вакуум для отжига, в то же время подходящая регулировка цикла холодного отжига позволяет получить деталь с любой желаемой степенью упрочнения, которого нельзя добиться при горячей обработке.</p> <p>Если желательно, чтобы готовый продукт был в размягченном состоянии, заключительной операцией должен быть перекристаллизационный отжиг, который будет следовать за последним этапом холодной обработки, необходимым для получения желаемых размера и формы.</p> <p>В этом случае цель будет заключаться в получении мелких рекристаллизованных зерен, чтобы получить хорошую ударную вязкость; в противном случае ударная вязкость снизится, если готовый продукт нагреть до стадии</p>
---	---

<p>Therefore, the recrystallized grain size, d_R, obtained by annealing treatment is very important in determining the mechanical properties of the material.</p> <p>Further, if the grains after cold working and annealing are too coarse, the surface finish of the metal on machining will be rough and an 'orange peel' effect in which the surface appearance of the part resembles to that of an orange will be exhibited after pressing.</p> <p>The final temperature in the annealing furnace is an important factor in industry.</p> <p>This temperature must be as low as possible, while ensuring complete recrystallization in adequate time.</p> <p>In industry, the annealing temperature of the metal is considered as roughly three fourths of the melting point measured in Kelvin, for example 450 °C for aluminium and 800 °C for copper (Harris 1983).</p>	<p>роста зерна.</p> <p>Следовательно, размер рекристаллизованного зерна d_R, полученный при обработке отжигом, очень важен для определения механических свойств материала.</p> <p>Кроме того, если зерна после холодной обработки и отжига будут слишком крупными, обработка поверхности металла при механической обработке будет шероховатой, и после этого будет проявляться эффект «апельсиновой корки», при котором внешний вид поверхности детали будет напоминать поверхность апельсина.</p> <p>Конечная температура в печи отжига является важным фактором в промышленности.</p> <p>Эта температура должна быть как можно более низкой, обеспечивая при этом полную рекристаллизацию за адекватное время.</p> <p>В промышленности считается, что температура отжига металла составляет примерно три четверти температуры плавления, измеренной в Кельвинах, например 450 ° C для алюминия и 800 ° C для меди (Harris 1983).</p>
--	---

<p>It is to be noted that the faster the nucleation rate and the slower the growth rate of grains, the finer is the recrystallized grain size d_R, and hence, the fineness of recrystallized grain size d_R depends on the following factors.</p> <p>(1) As the degree of prior deformation increases, nucleation is favoured and the recrystallized grain size d_R becomes finer.</p> <p>Because increasing degree of prior deformation will result in an increase in the number of high stress-or high energy-points acting as the nucleation sites, from which greater number of grains will be recrystallized.</p> <p>(2) As the time at any temperature above the recrystallization temperature increases, grain growth is favoured and d_R increases.</p> <p>(3) As the annealing temperature above the recrystallization temperature increases, grain growth is favoured and</p>	<p>Следует отметить, что чем выше скорость образования зародыша зерна и чем ниже скорость его роста, тем мельче будет размер рекристаллизованного зерна d_R, и, следовательно, тонкость рекристаллизованного размера зерна d_R зависит от следующих факторов.</p> <p>(1) По мере того, как степень предшествующей деформации увеличивается, зародышеобразование благоприятствует и размер рекристаллизованного зерна d_R становится мельче.</p> <p>Поскольку увеличение степени предшествующей деформации приведет к увеличению числа точек с высоким напряжением или высокой энергией, действующих центры зародышеобразования, из которых будет рекристаллизовано большее количество зерен.</p> <p>(2) По мере увеличения времени нахождения при любой температуре, превышающей температуру рекристаллизации, рост зерна благоприятствует и d_R увеличивается.</p> <p>(3) Когда температура отжига выше температуры рекристаллизации, увеличивается</p>
---	--

<p>d_R increases.</p> <p>(4) The faster the rate of heating to the annealing temperature, the finer is the recrystallized grain size d_R because the shorter time of heating will lead to the formation of more nuclei and restrict the growth of grains resulting in a fine-grained product.</p> <p>(5) The greater the amount and the finer the distribution of insoluble impurities, the finer is the recrystallized grain size d_R because insoluble impurities not only act as centres of heterogeneous nucleation and increase the nucleation rate, but also pin the grain boundaries and act as barriers to the growth of grains.</p> <p>(6) As the rate of cooling from the annealing temperature decreases, grain growth is favoured and d_R increases.</p> <p>(7) The finer the initial grain size of the material, the finer is the recrystallized grain size d_R, provided other factors remain the same because</p>	<p>рост зерен и увеличивается d_R.</p> <p>(4) Чем выше скорость нагрева до температуры отжига, тем меньше размер рекристаллизованного зерна d_R, поскольку более короткое время нагрева приведет к образованию большего количества зародышей и ограничит рост зерен, что приведет к получению мелкозернистого продукта.</p> <p>(5) Чем больше количество и мельче распределение нерастворимых примесей, тем мельче будет размер рекристаллизованного зерна d_R, поскольку нерастворимые примеси не только действуют как центры гетерогенного зародышеобразования и увеличивают скорость зародышеобразования, но также закрепляют границы зерен и действуют как препятствия для роста зерна.</p> <p>(6) По мере того, как скорость охлаждения от температуры отжига уменьшается, рост зерна благоприятствует и d_R увеличивается.</p> <p>(7) Чем мельче исходный размер зерна материала, тем мельче будет размер рекристаллизованного зерна d_R, при условии, что другие факторы</p>
---	--

<p>more grain-boundary areas per unit volume in an initially fine-grained material act as centres of heterogeneous nucleation and increase the nucleation rate resulting in a fine-grained product.</p>	<p>остаются неизменными, поскольку большее количество зернограницных областей на единицу объема в изначальном мелкозернистом материале действует как центры гетерогенного зародышеобразования и увеличивают скорость зародышеобразования, что приведет к получению мелкозернистого продукта.</p>
<p>However, if it is desired to obtain a final product having strength more than that in the fully annealed condition, then the final operation must be a cold working step following the last recrystallization annealing treatment.</p>	<p>Однако, если желательно получить конечный продукт, обладающий большей прочностью, чем прочность в полностью отожженном состоянии, тогда заключительной операцией должна быть стадия холодной обработки после последней обработки рекристаллизационным отжигом.</p>
<p>The degree of cold reduction required to impart to the work-piece depends on the extent of the desired strength — the higher the percentage of cold reduction, the higher is the strength.</p>	<p>Степень охлаждения, зависит от степени желаемой прочности - чем выше процент охлаждения, тем выше прочность.</p>
<p>However, the cold-worked material must be finally subjected to stress relief annealing or stress-relieving treatment to remove residual stresses, which may otherwise cause stress corrosion cracking or produce distortion in the</p>	<p>Однако холоднодеформированный материал должен быть окончательно подвергнут отжигу или обработке для снятия остаточных напряжений, которые в противном случае могут вызвать коррозионное</p>

<p>cold-worked member.</p> <p>The stress relief annealing or stress relieving treatment consists in heating a cold-worked material below its recrystallization temperature, T_R, holding long enough to reduce residual stresses by recovery process and then cooling slowly enough to minimize the development of new residual stresses.</p> <p>Since the mechanical properties of the material are essentially unchanged during this treatment, a cold-worked material after stress-relieving treatment will maintain the strengthening produced by cold working without the harmful effects of residual stresses present in the as-deformed condition.</p> <p>The above procedure of recrystallization annealing followed by final cold working and subsequent stress relieving treatment is successfully applied to</p>	<p>растрескивание под напряжением или вызвать деформацию в холоднодеформированном элементе.</p> <p>Отжиг или обработка для снятия напряжений заключается в нагревании холоднодеформированного материала ниже его температуры рекристаллизации T_R, выдержке достаточно долго для снижения остаточных напряжений за счет процесса восстановления, а затем достаточно медленном охлаждении, чтобы минимизировать развитие новых остаточных напряжений.</p> <p>Поскольку механические свойства материала практически не изменяются во время этой обработки, обработанный в холодном состоянии материал после обработки для снятия напряжений будет сохранять упрочнение полученное в результате холодной обработки, без вредного воздействия остаточных напряжений, присутствующих в деформированном состоянии.</p> <p>Вышеупомянутая процедура рекристаллизационного отжига с последующей холодной обработкой для снятия напряжений успешно</p>
--	--

<p>develop a certain combination of strength and ductility in the final product, which might be possible to achieve if a fully cold-worked material is partially softened by recrystallization annealing.</p> <p>But this latter procedure of cold working followed by annealing is not advisable because the recrystallization process progresses relatively fast and is quite sensitive to slight temperature variations in the furnace and thus difficult to control.</p> <p>10.2.2 Temperature Limits for Hot Working</p> <p>In practice, the equipment used to carry out the deformation process decides the strain rate to be imparted to the work-piece, but for given equipment the strain rates become fixed, whereas the deformation temperature can be changed or regulated as per desire.</p> <p>Since the higher the deformation</p>	<p>применяется для достижения определенного сочетания прочности и пластичности в конечном продукте, чего можно достичь, если полностью подвергнутый холодной деформации материал частично размягчить рекристаллизационным отжигом.</p> <p>Но эта последняя процедура холодной обработки с последующим отжигом не рекомендуется, поскольку процесс рекристаллизации протекает относительно быстро и весьма чувствителен к небольшим колебаниям температуры в печи и, следовательно, его трудно контролировать.</p> <p>10.2.2 Пределы температуры для горячей обработки</p> <p>На практике, оборудование, используемое для выполнения процесса деформации, определяет скорость деформации, которая должна быть передана заготовке, но для данного оборудования скорости деформации становятся фиксированными, тогда как температуру деформации можно изменять или регулировать по желанию.</p> <p>Поскольку чем выше температура</p>
---	--

<p>temperature, the lower the flow stress at a given strain rate and the higher is the maximum amount of deformation possible under a given load; therefore, it is advantageous to deform the work-piece at as high a temperature as possible.</p> <p>Hence, the upper limit for hot working should be the solidus temperature of the work-piece.</p> <p>Generally, the maximum temperature for hot working is limited to 50 °C below the temperature at which either melting of the lowest melting constituent in the material or excessive oxidation at the grain boundary takes place.</p> <p>Incipient melting of a lower melting constituent, often present only in minute amounts, that is segregated at grain boundaries forms a grain-boundary film of the lower melting constituent.</p> <p>When the material is stressed or deformed, only a very small amount of</p>	<p>деформации, тем ниже напряжение течения при данной скорости деформации и тем выше максимальная величина деформации, возможная при данной нагрузке; поэтому предпочтительно деформировать заготовку при как можно более высокой температуре.</p> <p>Следовательно, верхним пределом для горячей обработки должна быть температура солидуса заготовки.</p> <p>Как правило, максимальная температура для горячей обработки ограничивается на 50 ° C ниже температуры, при которой происходит либо плавление самого низкоплавкого компонента материала, либо чрезмерное окисление на границе зерен.</p> <p>Начальное плавление компонента с более низкой температурой плавления, часто присутствующего только в незначительных количествах, которое сегрегировано по границам зерен, образует зернограничную пленку компонента с более низкой температурой плавления.</p> <p>Когда материал подвергается напряжению или деформируется,</p>
---	---

<p>this intergranular film causes the material to break apart by separation along grain boundaries rather than to deform and results in a scrapped product.</p> <p>Such a condition is called hot shortness or burning.</p> <p>Since brittleness developed by hot shortness or burning hinders hot-working operations, the upper limit for hot working is generally 50 °C below the melting point.</p> <p>Sometimes, the upper temperature limit for hot working is maintained below the temperature at which the material undergoes allotropic or other phase transformation producing allotrope or phase of higher flow stress than the parent one.</p> <p>Since hot working is the deformation followed by instantaneous recrystallization, the lower temperature limit for hot working of a material is the lowest temperature at which the rate of recrystallization is rapid enough to remove instantly the effects of</p>	<p>только очень небольшое количество этой межзеренной пленки заставляет материал распадаться за счет разделения по границам зерен, а не деформироваться, что приводит к браку продукта.</p> <p>Такое состояние называется красноломкость.</p> <p>Поскольку хрупкость, возникающая из-за короткого замыкания или обжига, затрудняет операции горячей обработки, верхний предел для горячей обработки обычно на 50 ° C ниже точки плавления.</p> <p>Иногда верхний предел температуры для горячей обработки поддерживается ниже температуры, при которой материал претерпевает аллотропное или другое фазовое превращение, приводящее к аллотропу или фазе с более высоким напряжением текучести, чем исходное.</p> <p>Поскольку горячая обработка - это деформация, за которой следует мгновенная рекристаллизация, нижний предел температуры для горячей обработки материала - это самая низкая температура, при которой скорость рекристаллизации</p>
--	--

<p>deformation on structure and properties of the material.</p> <p>Since time is required for recrystallization and the effects of working are instantaneous, so in practice the indication of deformation remains at the end of hot working processes unless the processes are slow enough to permit full recrystallization.</p> <p>However, the lower temperature limit for hot working, T_L, is related to the recrystallization temperature, T_R, of the individual material, and neither T_R nor T_L is a fixed temperature in the sense of a melting temperature; rather, both of them depend in the similar manner mainly on the following variables.</p> <p>The influence of individual factor on T_R and T_L has been discussed below, assuming that other factors do not change.</p> <p>(1) The greater the amount of deformation, the more the stored strain energy and the less is the thermal energy or temperature required to cause recrystallization, and thus, the more will be the decrease in T_R and T_L.</p>	<p>достаточно высока, чтобы мгновенно устранить влияние деформации на структуру и свойства материала.</p> <p>Поскольку для рекристаллизации требуется время, а эффекты обработки мгновенны, на практике признаки деформации остаются в конце процессов горячей обработки, если только эти процессы не являются достаточно медленными, чтобы обеспечить полную рекристаллизацию.</p> <p>Однако нижний предел температуры для горячей обработки, T_L, связан с температурой рекристаллизации T_R отдельного материала, и ни T_R, ни T_L не являются фиксированной температурой плавления; скорее, оба они одинаково зависят в основном от следующих переменных.</p> <p>Влияние отдельного фактора на T_R и T_L описаны ниже, предполагая, что другие факторы не меняются.</p> <p>(1) Чем больше величина деформации, тем больше сохраняется энергия деформации, и тем меньше тепловая энергия или температура, необходимые для рекристаллизации, и, таким образом, тем сильнее будет</p>
---	--

<p>(2) Increasing the duration at temperature of hot working decreases T_R and T_L, because recrystallization is a time and temperature-dependent phenomenon.</p> <p>However, increasing hot working temperature by 10 °C is approximately equivalent to doubling the hot working duration, and hence, the temperature is a more important factor than the time.</p> <p>(3) The higher the rate of working, i.e. the strain rate, the more is the increase in T_R and T_L.</p> <p>It is because of the necessity of increasing softening rate by recrystallization so as to balance the increased rate of strain hardening caused by rapid rate of working.</p> <p>(4) The more rapid the cooling rate from the temperature of hot working, the more will be the increase in T_R and T_L.</p> <p>When the material is cooled rapidly, less time is available for recrystallization to</p>	<p>уменьшение T_R и T_L.</p> <p>(2) Увеличение продолжительности горячей обработки при температуре снижает T_R и T_L, поскольку рекристаллизация является явлением, зависящим от времени и температуры.</p> <p>Однако повышение температуры горячей обработки на 10° С приблизительно эквивалентно удвоению продолжительности горячей обработки, и, следовательно, температура является более важным фактором, чем время.</p> <p>(3) Чем выше скорость обработки, то есть скорость деформации, тем больше увеличивается T_R и T_L.</p> <p>Это происходит из-за необходимости увеличения скорости разупрочнения за счет рекристаллизации, чтобы уравновесить повышенную скорость деформационного упрочнения, вызванную высокой скоростью обработки.</p> <p>(4) Чем выше скорость охлаждения от температуры горячей обработки, тем больше будет увеличение T_R и T_L.</p> <p>Когда материал охлаждается быстро, для рекристаллизации остается</p>
---	---

<p>occur, and so it is required to increase the recrystallization temperature.</p> <p>(5) The finer the initial grain size of the material, the higher the ratio of grain-boundary area to volume and the more is the strain hardening for the same degree of deformation.</p> <p>This causes an increase in the stored strain energy and the decrease in the thermal energy or temperature required to cause recrystallization, which results in the decrease of T_R and T_L.</p> <p>(6) As compositional purity of the material increases, the energy required to overcome the rigidity of the distorted lattice decreases, which causes to decrease T_R and T_L.</p> <p>On the other hand, solid solution alloying additions always raise T_R and T_L, due to increase in the rigidity of the lattice.</p> <p>Hot working is generally carried out at temperatures above $0.6 T_m$ and at strain rates that vary from 0.5 to 500 s^{-1}.</p> <p>In hot working, usually large strain of</p>	<p>меньше времени и поэтому требуется повышение температуры рекристаллизации.</p> <p>(5) Чем мельче исходный размер зерна материала, тем выше отношение площади границ зерен к объему и тем больше деформационное упрочнение при той же степени деформации.</p> <p>Это вызывает увеличение накопленной энергии деформации и уменьшение тепловой энергии или температуры, необходимые для рекристаллизации, что приводит к уменьшению T_R и T_L.</p> <p>(6) По мере того, как чистота состава материала увеличивается, энергия, необходимая для преодоления жесткости искаженной решетки, уменьшается, что вызывает уменьшение T_R и T_L.</p> <p>С другой стороны, легирующие добавки твердого раствора всегда повышают T_R и T_L из-за увеличения жесткости решетки.</p> <p>Горячую обработку обычно проводят при температурах выше $0,6 T_m$ и скорости деформации от $0,5$ до 500 с^{-1}.</p> <p>При горячей обработке детали</p>
---	--

<p>the order of 200–400% is imparted to the work-piece.</p> <p>Several steps or passes are mostly used to carry out hot working operations.</p> <p>To convert a cast ingot into a wrought product, commonly the first step is to employ hot working processes, such as forging, rolling or extrusion at a temperature near the upper temperature limit for hot working.</p> <p>During the intermediate passes, the working temperature is gradually decreased but kept well above the lower temperature limit for hot working.</p> <p>This processing at high temperatures is not only economical due to decrease in the flow stress but also makes larger deformation possible, which is desirable at the initial breakdown of the ingot.</p> <p>Of course, there will be some grain growth subsequent to the recrystallization at these high temperatures, which is not desired.</p> <p>In the last pass, the finishing working</p>	<p>обычно передается большая деформация порядка 200–400%.</p> <p>Для выполнения операций горячей обработки в основном используются несколько этапов или проходов.</p> <p>Чтобы превратить литой слиток в деформируемый продукт, обычно первым шагом является использование процессов горячей обработки, таких как ковка, прокатка или экструзия, при температуре, близкой к верхнему пределу температуры для горячей обработки.</p> <p>Во время промежуточных проходов рабочая температура постепенно снижается, но поддерживается значительно выше нижнего предела температуры для горячей обработки.</p> <p>Такая обработка при высоких температурах не только экономична, из-за уменьшения напряжений текучести, но также делает возможной большую деформацию, которая желательна при первоначальном разрушении слитка.</p> <p>Конечно, после рекристаллизации при таких высоких температурах произойдет некоторый рост зерен, что нежелательно.</p> <p>На последнем проходе конечная</p>
---	--

<p>temperature is lowered to the point, which is usually just above the minimum hot working temperature so that during cooling from this finishing temperature there will be negligible grain growth.</p> <p>In the last pass, a large amount of deformation is imparted to the work-piece so that a product with recrystallized fine grain sizes, which is usually desired, can be achieved.</p>	<p>рабочая температура снижается до точки, которая обычно немного выше минимальной горячей рабочей температуры, так что во время охлаждения от этой конечной температуры рост зерен будет незначительным.</p> <p>В последнем проходе заготовке передается большая степень деформации, так что может быть получен продукт с рекристаллизованными мелкими зернами, которые обычно желательны.</p>
---	---

