

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ ТРУБ
ИЗ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

**С. И. Губенко, д.т.н., В. Н. Беспалько, к.т.н., А. Е. Балев, асп.,
Е. В. Жиленкова, соиск., В. В. Ромашенко, студ., В. В. Кузьменко, студ.**

Национальная металлургическая академия Украины

Развитие химической, авиационной, транспортной, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности, а также развитие новой техники и атомной энергетики невозможно без широкого применения сталей с особыми физическими свойствами. Широкое применение в самых разнообразных отраслях промышленности получили высоколегированные нержавеющие стали. Трубы из нержавеющих сталей, обладая целым рядом технологических и конструктивных преимуществ, занимают значительный вес в общем объеме производства проката. Поэтому оптимизация процесса горячей деформации как одного из самых распространенных технологических способов производства изделий представляет значительный практический интерес.

Целью работы являлось оптимизация режимов деформации труб из высоколегированных сталей.

Материалы и методики исследования. Исследовали аустенитную сталь 10X18H10T и сталь ферритного класса 04X14T3P1Ф. Оценивали склонность сталей к высокотемпературному разрушению. Деформацию осуществляли в интервале температур 900 - 1200°C. При испытании на растяжение определяли работу разрушения и ее составляющие. Испытания на растяжение проводили на гладких цилиндрических образцах $d=6$ мм, $l=60$ мм и образцах с кольцевой усталостной трещиной. Структуру образцов исследовали с помощью микроскопов Neophot-21, JSM-35.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведены исследования по оптимизации температурно-деформационных режимов прокатки при получении труб из высоколегированных сталей аустенитного (10X18H10T) и ферритного (04X14T3P1Ф) классов. Технологические и служебные характеристики стали во многом определяются дислокационной и субзеренной структурой, формирующейся непосредственно при деформации. В ранее проведенных работах определяли закономерности изменения структуры аустенита и феррита непосредственно в очаге деформации [1, 2, 3]. Поэтому в настоящей работе исследовали склонность стали к высокотемпературному разрушению в зависимости от характера микроструктуры. Исследования показали, что микроструктура, формирующаяся в процессе динамического разупрочнения при кривой прокатке с различными температурно-скоростными параметрами может быть условно подразделена на два морфологических типа: I - однородная субзеренная – образуется в результате динамического возврата, II - рекристаллизованная – в результате динамической рекристаллизации, III – крупнозернистая структура со специальными и двойниковыми границами (рис. 1).

Для количественной оценки склонности к высокотемпературному разрушению каждого из морфологических типов структур, образующихся в аусте-

нитной стали при горячей деформации проводили испытания на растяжение и прошиваемость.

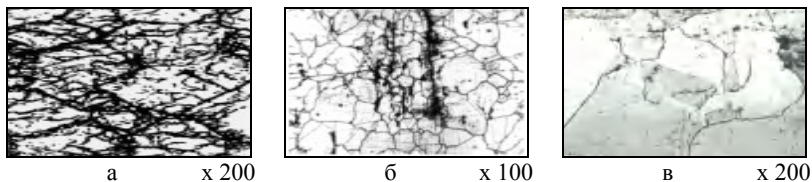


Рис. 1. Структура аустенита в стали 10X18H10T: а – полигонизованная; б – рекристаллизованная; в – крупнозернистая с двойниковыми границами

Испытания на растяжение проводили на гладких цилиндрических образцах и образцах с кольцевой усталостной трещиной. Определяли работу разрушения (A_0) и ее составляющие: работу зарождения трещины (A_3) и работу распространения трещины (A_p и $A_{ту}$) (рис. 2).

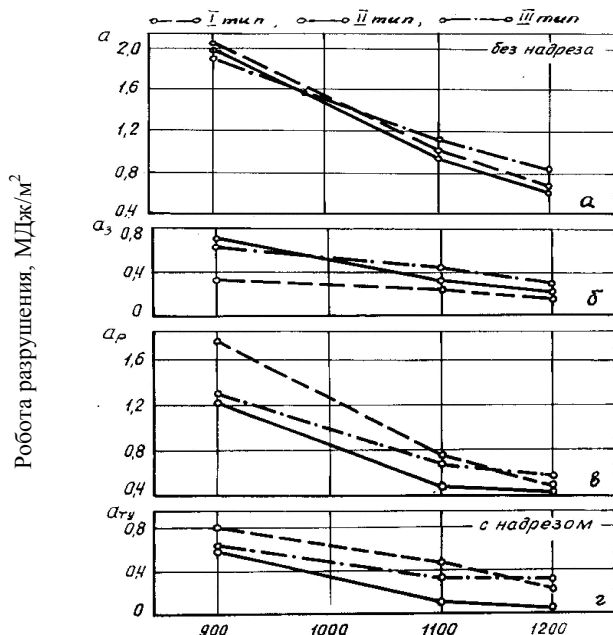


Рис. 2. Работа разрушения при растяжении гладких образцов (а – в) и образцов с усталостной трещиной (г)

Полученные данные показали, что величина общей работы разрушения и ее составляющие снижаются с повышением температуры испытания. При растяжении образцов в интервале температур 900-1200°C работа распространения трещин (A_p и $A_{ту}$) максимальна в случае однородной полигонизованной

структуры и минимальна в случае мелкозернистой рекристаллизованной структуры. В тоже время работа зарождения микротрещин ниже в случае полигонизованной структуры, чем в случае структуры II и III типа.

Общий уровень работы при испытании гладких образцов практически одинаков для всех исследуемых структурных состояний, что связано с высокой пластичностью стали 10X18H10T. Наличие концентратора напряжения в виде усталостной трещины оказывает охрупчивающее действия, повышает чувствительность метода по определению работы разрушения в зависимости от исходного структурного состояния.

Различный уровень абсолютных значений работы разрушения на образце с надрезом и без него (Ату и Ар) объясняется следующим: наличие надреза и усталостной трещины приводит к локализации пластической деформации и уменьшению объема металла, участвующего в пластическом деформировании, что снижает энергетические затраты на разрушение; при отсутствии надреза работа разрушения затрачивается не только на зарождение и дальнейшее развитие трещины, но и на пластическую деформацию сплава. В результате того, что в пластическую деформацию вовлечен больший объем металла, величина энергии, затрачиваемая на разрушение, увеличиваются. Деформация сопровождается большим удлинением гладкого образца по сравнению с образцом, имеющим надрез.

Оценку технологической пластичности и склонности к центральному разрушению образцов с разной исходной структурой аустенита осуществляли после прокатки на лабораторном стане конических образцов $d_1=20$ мм; $d_2=27$ мм; $l=100$ мм имеющих регламентированную структуру. Проведенные исследования показали, что для образцов, имеющих в исходном состоянии субзернистую структуру, предельное обжатие, при котором наступало разрушение выше на 20 - 30%, чем в случае структуры II и III типа.

В случае сравнительно низкой температуры горячей деформации 900°C, наименьшим запасом пластичности обладает структура III типа. Фрактографические исследования образцов в этом случае показали наряду с участками ямочного или сотового излома, характерного для высокотемпературного вязкого разрушения (рис. 3, а), наличие микрообъемов с практически плоскими фасетками квазихрупкого излома (рис. 3 б, в), рельеф которых соответствует границе зерен аустенита.

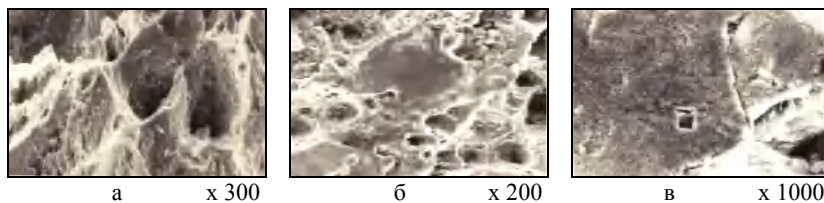


Рис. 3. Изломы образцов со структурой III типу после растяжения при температуре 900°C

Интеркристаллитный характер разрушения подтверждается отсутствием на фасетках скола складок или ручьистого излома, что связано с меньшей воз-

возможностью ветвления трещины при их распространении по межзеренным границам. Характерным для высокотемпературного квазихрупкого излома является также наличие на плоской площадке скола охрупчивающих частиц нематаллических включений.

С повышением температуры испытания до 1100 °С взаимосвязь исходной структуры и склонности к разрушению образцов стали 10X18H10T меняется. Изломы, полученные при температуре испытания 1100 °С, для образцов со структурой всех трех типов имеет ямочное сотовое строение. Однако, наиболее однородное строение с наличием большого количества мелких фасеток имел излом в случае структуры I типа (рис. 4, а). При крупнозернистой исходной структуре наряду с мелкими фасетками наблюдали сколы по границам зерен аустенита (рис. 4, в). Наибольшая неоднородность излома отмечена в случае исходной рекристаллизованной структуры.

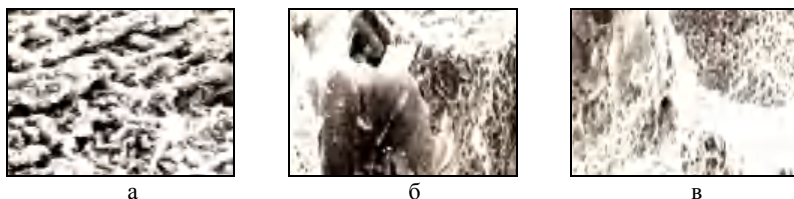


Рис. 4. Изломы образцов со структурой разного типа после растяжения при температуре 1100°С, х 750: а - I тип; б - II тип; в - III тип

Анализ взаимосвязи структуры и уровня механических характеристик стали с ферритной матрицей показали, что получение крупнозернистой рекристаллизованной структуры (структура II типа) при горячей деформации при температуре 1050°С (рис.5, а) способствует развитию межзеренного разрушения и ухудшает свойства стали.

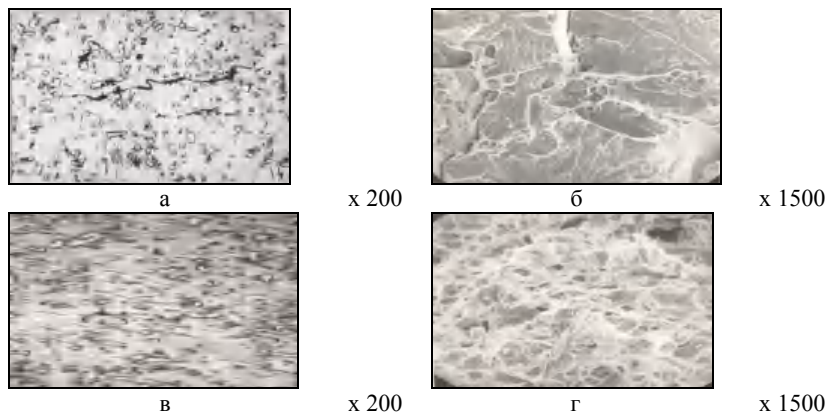


Рис. 5. Микроструктура и поверхности излома образцов из стали 04X14ТЗР1Ф

Прокатка образцов при температуре 900°C и повышенных степенях деформации приводит к получению субзеренной структуры в феррите (структура I типа) (рис.5, б). Упрочнение матрицы за счет создания при горячей деформации субструктуры приводит к уменьшению различия механических свойств матрицы и боридной фазы, что оказывает положительное влияние на технологические свойства стали.

Проведенные исследования позволили определить оптимальные параметры прокатки гильз на ТПА350. Повышение температуры прокатки способствует неравномерному развитию процессов динамического восстановления структуры стали. Динамическая собирательная рекристаллизация приводит к укрупнению ферритных зерен при температуре деформации 1050 °С.

Равномерное распределение включений боридов способствует образованию устойчивой полигональной субструктуры, когда динамическое разупрочнение проходит по механизму возврата, т.е. образования и коалесценции субзерен, что сдерживает миграцию больше угловых границ зерен. Если включения боридов крупные и распределены в стали неравномерно, то неравномерная динамическая рекристаллизация способствует образованию неоднородной зеренной структуры стали. Проведенные исследования позволили определить режимы обработки (температуры деформации и степени деформации), которые способствуют получению оптимальной структуры, обеспечивающей повышенную пластичность изучаемых сталей.

Выводы. Количественная оценка склонности к высокотемпературному разрушению образцов сталей 10X18H10T и 04X14T3P1Ф со структурой разного типа, сформированной при горячей деформации, позволяет утверждать, что оптимальной структурой при температурах, применяемых в большинстве случаев на практике кривой прокатки, является однородная субзеренная структура. Такая структура затрудняет распространение микротрещин и в значительной степени повышает пластичность сталей с различной матрицей. Прошивка заготовок, а также прокатка гильз с температурно-скоростными параметрами, облегчающими развитие динамического возврата, будет способствовать повышению технологической пластичности сталей и оптимизации технологии получения бесшовных горячекатаных труб из высоколегированных сталей с различной структурой.

Список использованных источников

1. Повышение технологической пластичности заготовки из стали 12X18H10T при прошивке /Э.Н.Погребной, К.М.Жак, В.Н. Кирвалидзе и др. – Сталь, 1978, № 4, с. 363-366.
2. С.И. Губенко, В.Н. Беспалько, Е.В. Жиленкова. Влияние температуры и степени деформации на характер изменения эвтектических боридов в высокохромистой стали с бором // Теория и практика металлургии.- Днепропетровск, 2006.- № 4-5.- с.158-160.
3. С.И.Губенко, В.Н. Беспалько, А.Е. Балев «Исследование параметров горячей деформации и термической обработки на формирование структуры гильз из стали 08X18H10T», Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. Зб. наук. праць. Том 11. Пластична деформація. Теорія і технологія виробництва труб, м. Дніпропетровськ, 2008 р.