

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СТАЛЬ С РЕГУЛИРУЕМЫМ АУСТЕНИТНЫМ ПРЕВРАЩЕНИЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ (РАПЭ) ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ**

**Кругляков А.А.<sup>1</sup>, Никулин С.А.<sup>2</sup>, Рогачев С.О.<sup>2</sup>, Лебедева Н.В.<sup>3</sup>,  
Панова Г.А.<sup>4</sup>, Хоан Суан Нгуен<sup>2</sup>, Баранова А.П.<sup>2</sup>, Козлов Д.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Научно-коммерческая фирма WBN, г. Берлин, Германия

<sup>2</sup>НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

<sup>3</sup>НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», г. С.-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет,  
г. С.-Петербург, Россия

E-mail: dr.a.krugljakow@t-online.de

Стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации (стали с РАПЭ) – новый класс инструментальных сталей для горячего прессования [1 – 3]. В исходном состоянии такие стали имеют структуру на базе  $\alpha$ -твердого раствора и легко обрабатываются резанием. При нагреве до рабочих температур 700-800 °С стали претерпевают  $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращение и сохраняют аустенитную структуру на протяжении всей высокотемпературной эксплуатации. Основным инновационным эффектом при создании сталей с РАПЭ является использование усилий деформации и высоких температур для повышения прочности инструмента (эффект Озерского-Круглякова), т.е. такие стали имеют ярко выраженную склонность к горячему наклепу [4, 5]. Стали с РАПЭ по своим уникальным механическим свойствам с более высокой эффективностью превосходят разработанные в последние годы сложнолегированные стали с карбидным упрочнением и могут полностью заменить традиционные штамповые стали в диапазоне температур эксплуатации 600 – 800 °С.

Ранее были сформулированы положения, которые следует учитывать при разработке штамповых сталей с РАПЭ, склонных к деформационному, дисперсионному и нанофазному упрочнению при температурах эксплуатации [6, 7]. Изучены стали различных систем легирования: Cr–Ni–Mo–V, Cr–Ni–Mo–V–Co и Cr–Ni–Mo–V–Mn. Установлено, что наибольший эффект деформационного упрочнения аустенита при температурах 700 – 800 °С оказывают углерод (0,43 – 0,46 %), молибден (4,3 %) и хром (2,3 – 2,4 %). Показано, что эффективное дисперсионное упрочнение сталей с РАПЭ в аустенитном состоянии возможно за счет карбидов и нитридов ванадия, а также фазы Лавеса ( $Fe_2W$  и  $Fe_2Mo$ ). Многократная пластическая деформация сталей с РАПЭ в аустенитном состоянии в интервале температур 450 – 750 °С приводит к дополнительному упрочнению аустенита и стабилизации наклепанного состояния. Некоторые стали с РАПЭ были освоены в промышленности, например, сталь ЭП930 (4X2H5M3K5Ф).

В данной работе исследовали среднеуглеродистую (0,44 % C) сталь с РАПЭ, отличающуюся от промышленной стали ЭП930 в первую очередь увеличенным содержанием марганца, как элементом, понижающим температуру  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения и повышающим устойчивость переохлажденного аустенита. Марганец является частичным заменителем остродефицитного никеля.

При создании новых схем легирования штамповых сталей с РАПЭ необходимо обеспечивать их высокую технологичность. Для этого важно разработать оптимальные режимы термической обработки, способствующие снижению твердости стали в исходном состоянии, за счет формирования структуры «легированный феррит + карбиды (интерметаллиды)». Высокая устойчивость переохлажденного аустенита в перлитной области не позволяет использовать для сталей с РАПЭ традиционные режимы отжига [8]. В данной работе предложен режим термической обработки, способствующий снижению твердости исходной горячекатаной стали для последующей механической обработки. Термическая обработка включает в себя аустенитизацию (1050 °С, 1 ч) и последующую выдержку при температурах интенсивного выделения карбидных фаз и их коагуляции. Установлено, что в исследуемой стали при изотермическом превращении аустенита в интервале температур 330 – 450 °С (20 – 25 ч) наблюдается выделение карбидов (интерметаллидов), вследствие чего понижается стабильность переохлажденного

аустенита, и происходит его распад по бейнитному механизму. Последующий нагрев стали до температуры ниже  $A_{C1}$  (550 – 580 °С) обеспечивает коагуляцию карбидных (интерметаллидных) включений, при этом твердость стали понижается до 32 – 34 HRC.

Список литературы.

1. Орлов Ю.Г., Дудецкая Л.Р. Материалы и технологии изготовления литого штампового инструмента. Минск: Беларуская Навука, 2010. - 171 с.
2. Позняк Л.А. Инструментальные стали. К.: Наукова думка, 1996. - 488 с.
3. Лебедева Н.В. Современные штамповые стали для горячего прессования // Балтийские металлы. 2003. - № 1. - С. 7-9.
4. А.А. Кругляков, С.А. Никулин, В.М. Хаткевич, С.О. Рогачев. Новые направления в исследовании штамповых сталей с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации (стали с РАПЭ) // Научно-технический семинар «Бернштейновские чтения по термомеханической обработке металлических материалов». Москва. 28-30 октября 2014 г. Сборник тезисов. – М: НИТУ «МИСиС», 2014. - С. 50-51.
5. А.А. Кругляков, С.А. Никулин. Структура и особенности деформационного упрочнения штамповых сталей с регулируемым аустенитным превращением // Деформация и разрушение материалов. - 2014. - № 11. - С. 23-25.
6. А.А. Кругляков. Влияние легирующих элементов на упрочнение штамповых сталей в аустенитном состоянии при высокотемпературной пластической деформации // Деформация и разрушение материалов. - 2019. - № 3. - С. 28-32.
7. А.А. Krugljakow, S.A. Nikulin, S.O. Rogachev, V.M. Khatkevich, N.V. Lebedeva. Effect of thermomechanical treatment with multiple plastic deformation on the nanophase hardening of die steel with regulated austenitic transformation // Scientific proceedings of the scientific-technical union of mechanical engineering. - 2015. - V. 19/182. - P. 10-15.
8. Озерский А.Д., Кругляков А.А., Панова Г.А. Структурно-фазовые превращения и механические свойства стали ЭП930 при закалке и отпуске // Технология судостроительного производства: Сб. научн. трудов. Л.: Изд. ЛКИ, 1984. - С. 82-90.