

О ПРИРОДЕ ГОРЯЧЕГО УПРОЧНЕНИЯ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ С РАПЭ**Кругляков А.А.¹, Рогачев С.О.^{2,3}, Лебедева Н.В.^{4,5}**¹*Научно-коммерческая фирма ВВН, г. Берлин, Германия*²*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия*³*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия*⁴*НИИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург, Россия*⁵*Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет, Санкт-Петербург, Россия*
rogachev.so@misis.ru

В 1980-х г. Озерским А.Д. и Кругляковым А.А. впервые в мировой практике разработан новый класс безвольфрамовых штамповых сталей с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации (стали с РАПЭ) для горячей обработки давлением при рабочих температурах до 750–800 °С. Высокая стойкость прессового инструмента и его длительный ресурс обеспечивались за счет способности этих сталей сохранять горячее деформационное упрочнение (горячий наклеп).

Основным революционным выводом в теории штамповых сталей при создании сталей с РАПЭ явилось то, что эти стали должны не сопротивляться, а использовать усилия деформации и высокие температуры для повышения прочности инструмента непосредственно при его эксплуатации (эффект Озерского-Круглякова). Особенностью сталей с РАПЭ является низкая температура $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения (A_{C1}) – около 600 °С и высокая устойчивость переохлажденного аустенита.

В данной работе рассмотрена среднеуглеродистая сталь с РАПЭ на основе Fe–C–Si–Cr–Ni–Mn–Mo–V–Ti–Nb.

Показано, что для стали с РАПЭ в интервале температур 450–750 °С возможны три варианта поведения горячего упрочнения: усиление, стабилизация и усиление с дальнейшей стабилизацией. Это обеспечивается действием (в т.ч. совместным) ряда механизмов: деформационное упрочнение; дисперсионное и нанофазное упрочнение; упрочнение от полиморфных превращений и упрочнение от деформации в двухфазной ($\gamma + \alpha$)-области.

По результатам систематического исследования механического поведения и изменения структуры при горячей деформации штамповой стали с РАПЭ в интервале температур 450–750 °С показано, что важнейшим фактором, влияющим на наличие горячего наклепа в исследуемой стали является температура аустенизации и высокая устойчивость переохлажденного аустенита за счет снижения температур $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращения [1]. Влияние температуры аустенизации на горячий наклеп заключается в степени растворения частиц карбидов/интерметаллидов, что способствует стабилизации переохлажденного аустенита, накоплению высокой плотности дислокаций при высокотемпературной деформации и обеспечении условий для выделения упрочняющих наноразмерных фаз (на основе Nb, V, Ti и Mo) в процессе высокотемпературной деформации.

1. A.A. Krugljakow, S.O. Rogachev, N.V. Lebedeva, et al. On the nature of hot work hardening phenomenon in die steel with regulated austenitic transformation during exploitation // Materials Science and Engineering: A. – 2022. – V. 833. – P. 142548