

Влияние изотермического α' -мартенсита на механические свойства и коррозионную стойкость высоколегированных литых Cr-Mn-Ni-сталей

А. Ковалёв, А. Ян, А. Вейсс, П.Р. Шеллер. Институт технологии чугуна и стали, ТУ Горная Академия Фрайберг

К. Воробьёв, М. Кришер, Х.Е. Фридрих. Институт концепций транспортного машиностроения, Немецкий аэрокосмический центр.

Новые, разрабатываемые в в Институте Технологии Чугуна и Стали, Cr-Mn-Ni-стали с TRIP/TWIP-эффектом обладают в сравнении с традиционными хромоникелевыми аустенитными сталями улучшенными прочностными и пластичными свойствами, вызванными мартенситным превращением при пластической деформацией. Возможное атермическое или изотермическое образование мартенсита, а также образование мартенсита при эластичной деформации может привести к увеличению прочности и снижению пластичности. Целью данной работы являлось изучение влияния изотермического α' -мартенсита на механические свойства и коррозионную стойкость двух высоколегированных сталей. Результаты показали, что слабое образование α' -мартенсита не оказывает влияния на механические свойства, но одновременно улучшает пассивацию.

Введение

Стали с **TRIP/TWIP** (**T**Ransformation Induced Plasticity/**T**Winning Induced Plasticity) эффектом, т.е. пластичностью вызванной превращением метастабильного аустенита или деформационными двойниками, обладают по сравнению с обычными сталями повышенной прочностью и одновременно пластичностью [1]-[6]. Новые разрабатываемые в Институте Технологии Чугуна и Стали Cr-Mn-Ni-стали обладают в сравнении со стандартными хромоникелевыми аустенитными сталями улучшенными прочностными и пластичными свойствами [7]-[10]. Достигаемая совокупность свойств позволяет применять эти стали в высоконагруженных деталях или при сохранении уровня нагрузки изготавливать более лёгкие детали и экономить ресурсы и энергию при производстве и эксплуатации. Собственно увеличение пластичности возникает только при в результате мартенситного превращения вызванного пластической деформацией. Спонтанное или вызванное эластичной деформацией образование мартенсита приводит к увеличению прочности, но к сажелению к одновременному снижению пластичности. В исследуемых сталях изотермическое мартенситное превращение происходит при температурах ниже 20°C [8][11][12]. Это изотермическое образование мартенсита может негативно сказываться на механических свойствах сталей. Целью данной работы являлось изучение влияния изотермического α' -мартенсита на структуру, механические свойства и коррозионную стойкость аустенитных литых Cr-Mn-Ni-сталей, что особо важно для дальнейшего практического применения новых сталей.

Экспериментальная часть

Химический состав исследуемых аустенитных Cr-Mn-Ni-сталей представлен в **Таблице 1**. При механической подготовке проб, для дальнейших исследований механических и коррозионных свойств, возможно образование мартенсита вызванного пластической деформацией. Поэтому пробы после механической подготовки были подвергнуты термической обработке при температуре 1050 °С в течении 30мин и дальнейшему охлаждению в горячей воде.

Таблица 1: Химический состав исследуемых сталей (%масс)

	C	N	Si	Mn	Cr	Ni	Al
Сталь1	0,045	0,054	1,03	6,7	15,4	7,42	0,115
Сталь2	0,034	0,033	0,94	6,07	15,54	6,08	0,138

С целью получения изотермического α' -мартенсита пробы выдерживались в специальной климатической камере при температурах 0, -20 и -40°С в течении 30, 60 и 180 минут. После выдержки при низких температурах пробы были быстро нагревались до 20°С с помощью фена. Структура полученных проб была оценена качественно с помощью оптического микроскопа, а количественный анализ содержания мартенсита был произведен на магнитных весах Fischer® Feritscope FP30E-S. Так как исследуемые стали являются аустенитными и немагнитными, то измеряемая магнитная доля соответствует доле α' -мартенсита. Механические свойства сталей были определены посредством испытания на растяжение при комнатной температуре на машине ZWICK Roell Z250. Также были исследованы пассивация и стойкость сталей против питтинговой коррозии. Для оценки коррозионной стойкости были померяны и оценены кривые «плотность тока – потенциал». При этом исследования пассивации производились в 0,05мол%-серной кислоте со скоростью 0,5В/ч, а исследования питтинговой коррозии в 0,5мол%-соляной кислоте со скоростью 0,2В/ч.

Результаты

Образование α' -мартенсита

Выдержка при низких температурах приводит к заметным изменениям структуры сталей, **Рис.1**. При этом в пробах после выдержки в 60мин наблюдается значительное увеличение доли мартенсита по сравнению с пробами с выдержкой в 30мин. С дальнейшим увеличении выдержки с 60 до 180мин, структура проб изменяется незначительно. Стали 1 и 2 отличаются между собой содержанием никеля и марганца. Так как содержание марганца и никеля в стали2 меньше чем в стали1, то и аустенит в стали2 является менее стабильным чем в стали1. Это и приводит к различиям в изотермическом изменении структуры, в частности в количестве и морфологии мартенсита. В стали2 изотермическое изменение структуры было замечено уже в исходных пробах, не прошедших специальную выдержку при низких температурах. В стали1 изотермическое изменение структуры возникает только после выдержки и протекает очевидно по следующей схеме: сперва образование двойников, а затем мартенсита. Отличается также и морфология мартенсита. В стали стали2 он имеет форму пластин или замкнутых мартенситных областей. В стали стали1 мартенсит

присутствует в форме отдельных вытянутых полос или стрихов. Кроме того в стали1 стали видны изотермические двойники.

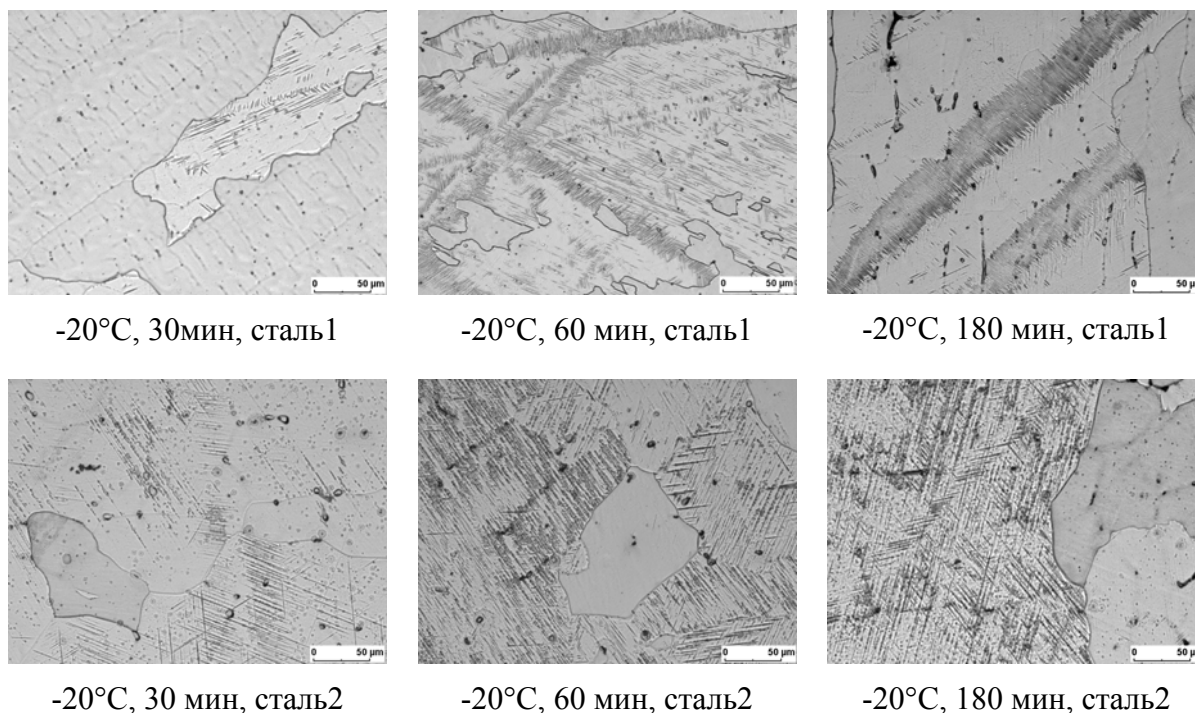


Рис. 1: Структура стали 1 и 2 после выдержки при температуре -20°C во времени

На **Рис. 2-3** представлена измеряемая магнитная доля в пробах после выдержки при низких температурах с и без пластической деформацией. При этом начальная доля мартенсита в пробах без выдержки составляет 0,15% для стали1 и 0,61% для стали2, а в пробах без выдержки но после испытания на растяжение 3,99% для стали1 и 26,01% для стали2.

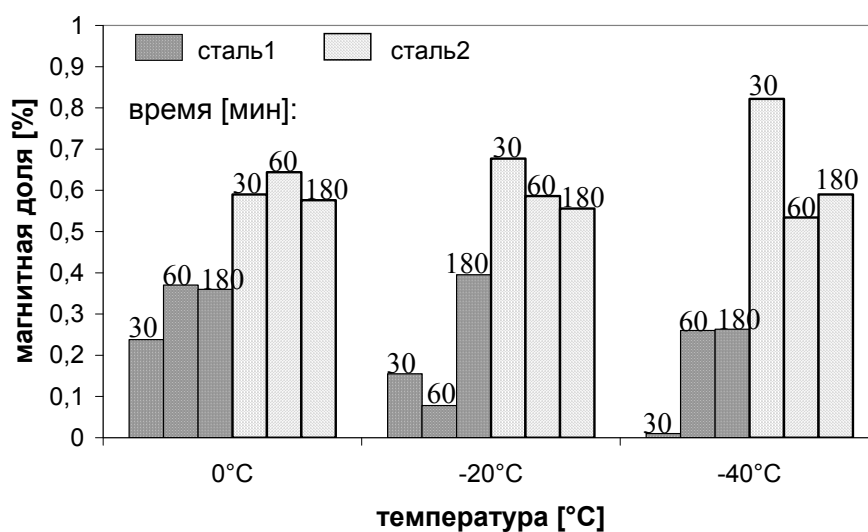


Рис. 2: Магнитная доля в пробах после изотермической выдержки при низких температурах без пластической деформации

При изотермической выдержки при низких температурах доля мартенсита увеличивается как в стали1 так и в стали2, но составляет всегда меньше 1%. Пластическая деформация во время испытания на растяжение приводит к значительному увеличению мартенсита. Из-за различий в химическом составе оля мартенсита в стали2 всегда больше чем в стали1.

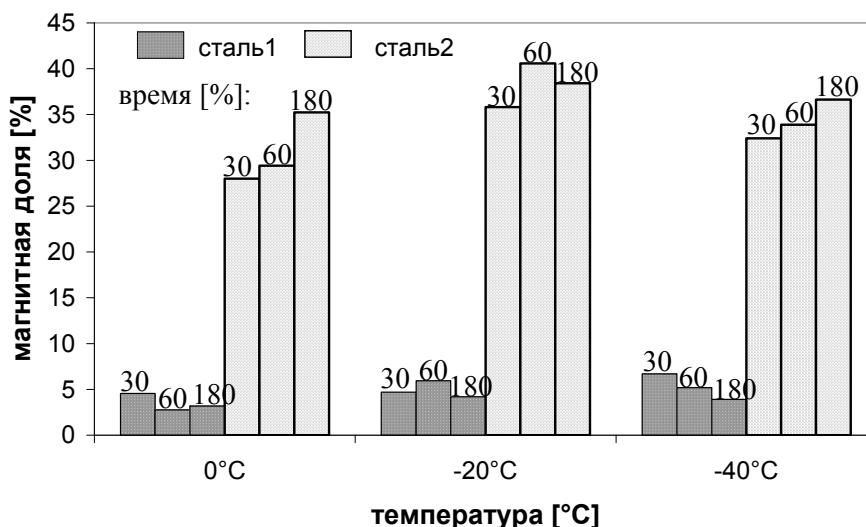


Рис. 3: Магнитная доля в пробах после изотермической выдержки при низких температурах и после испытания на растяжение (пластическая деформация)

Механические свойства

Испытания на растяжения показали различное поведение кривых напряжение-растяжение для сталей 1 и 2. Если кривая для стали1 имеет только одну точку изгиба, то на кривой для стали2 их две, **Рис. 4**. Протекание кривых пластичности с точками изгибов характерно для сталей с α' -мартенситом. Различия в кривых для стали 1 и 2 можно объяснить тем, что в стали1 образуется значительно больше α' -мартенсита при испытании на растяжение, чем в стали1, **Рис. 3**.

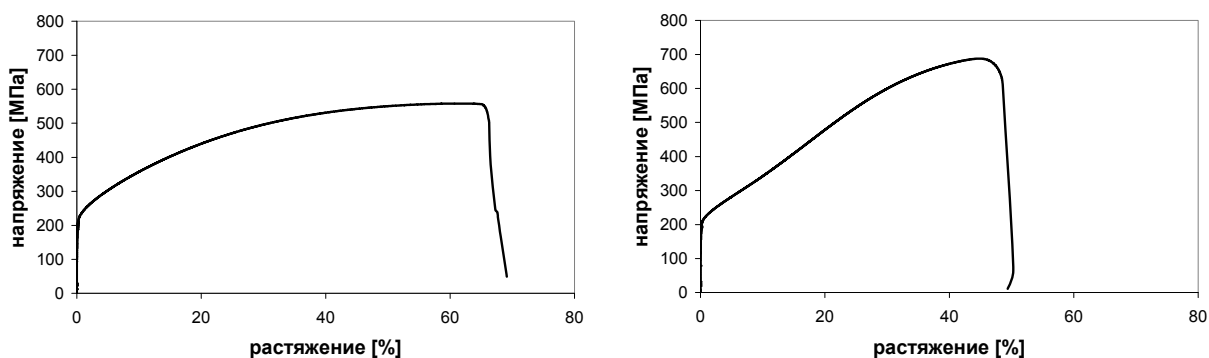


Рис. 4: Кривые напряжение-растяжение для сталей 1 и 2 в литом состоянии без выдержки при низких температурах

Механические свойства сталей 1 и 2 в литом состоянии представлены на Рис. 5-6. При этом видно, что ни время ни температура изотермической выдержки не оказали никакого влияния на механические свойства. Незначительное колебание значений максимального растяжения можно объяснить возможной неоднородностью литого состояния.

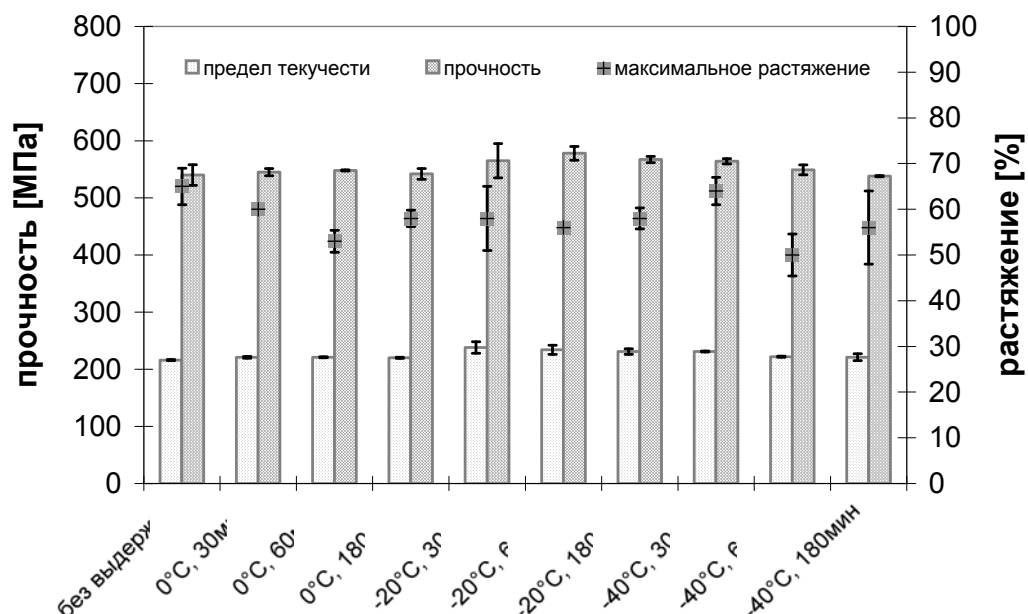


Рис. 5: Механические свойства стали1 в зависимости от температуры и времени изотермической обработки

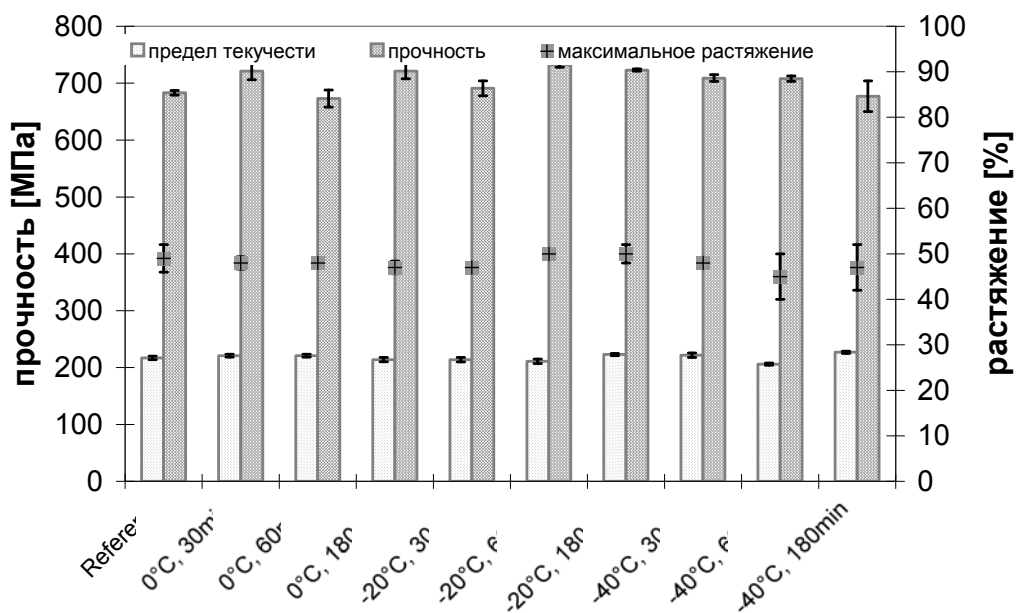


Рис. 6: Механические свойства стали2 в зависимости от температуры и времени изотермической обработки

Прочность стали1 лежит на уровне 540-580 МПа, удлинение 53-65%. У стали2 прочность составляет 670-730 МПа, удлинение 45-50%. Более высокая прочность стали2 объясняется большим содержанием мартенсита, вызванного пластической деформацией. Высокое растяжение стали1 объясняется образованием двойников и ϵ -мартенсита при пластической деформации. Из-за высокой стабильности аустенита, α' -мартенсит в стали1 образуется только при низких температурах. Поэтому при испытаниях на растяжения при комнатной температуре образуется только небольшая доля α' -мартенсита в стали1.

Коррозионная стойкость

На Рис. 7-8 представлены кривые «плотность тока – потенциал» исследуемых сталей, в исходном состоянии и выдержанных при $-40\text{ }^\circ\text{C}$, а также традиционной нержавеющей стали 1.4301, содержащей 18% хрома и 10% никеля.

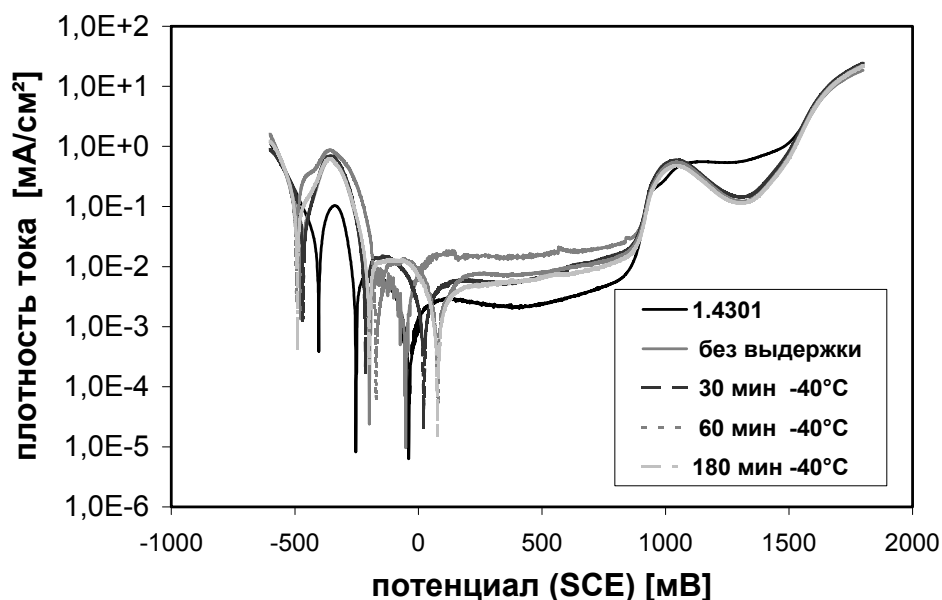


Рис. 7: Способность к пассивации стали1 после выдержки при $-40\text{ }^\circ\text{C}$ во времени

При этом видно, что плотность тока проб после выдержки падает сильнее чем проб без выдержки. Результаты показали, что с уменьшением температуры и увеличением времени выдержки способность к пассивации исследуемых сталей улучшается, особенно в случае стали1. Результаты исследований стойкости сталей против питтинговой коррозии не показали какого-либо влияния температуры и времени выдержки при низких температурах. Но можно сказать, что сталь1 имеет лучшую коррозионную стойкость, чем сталь2.

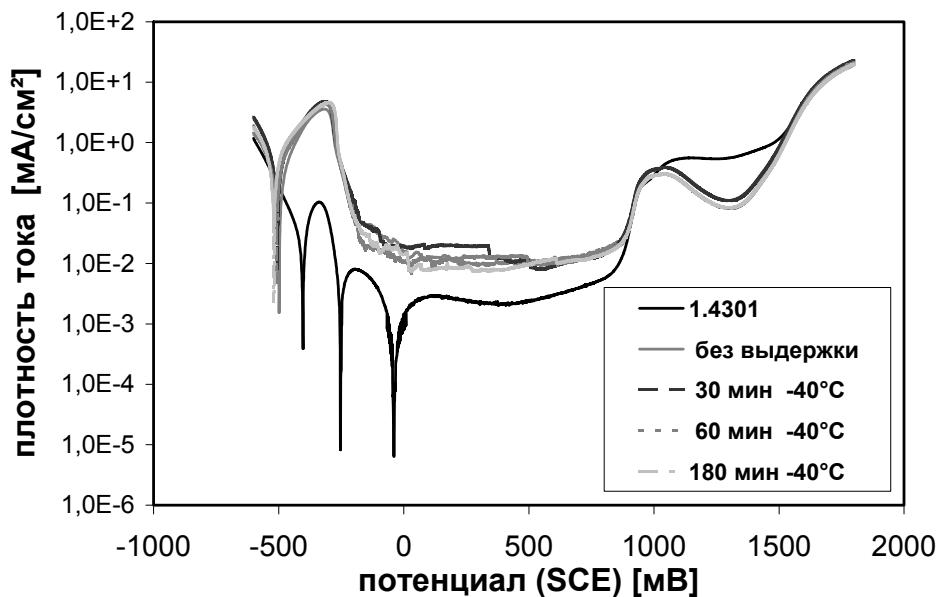


Рис. 8: Способность к пассивации стали2 после выдержки при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ во времени

Выводы

Изотермическая выдержка исследуемых сталей с TRIP/TWIP-эффектом при низких температурах приводит к незначительному образованию изотермического α' -мартенсита. Доля α' -мартенсита составляет при этом меньше 1%. Исследование микроструктуры и измерение магнитной фракции в образцах подвергнутых охлаждению показало, что в стали стали2 образуется больше мартенсита чем в стали1. Отличается также и морфология мартенсита. В стали стали2 он имеет форму пластин или замкнутых мартенситных областей. В стали стали1 мартенсит присутствует в форме отдельных вытянутых полос или стрихов. Кроме того в стали1 стали видны изотермические двойники.

Прочность стали1 лежит на уровне 540-580 МПа, удлинение 53-65%. У стали2 - прочность 670-730 МПа, удлинение 45-50%. Исследования не показали ухудшения механических свойств под воздействием изотермического мартенситного превращения.

У стали стали1 лучшая способность к пассивации чем у стали2. Она незначительно улучшается при понижении температуры или увеличении времени изотермической выдержки. Результаты исследований стойкости сталей против питтинговой коррозии не показали какого-либо влияния температуры или времени выдержки на коррозионную стойкость.

Перечень ссылок

- [1] Tamura, I.: Metal Science, 16, Mai 1982, p. 245.
- [2] Han, H.N.; Lee, C.G.; Oh, C.S.; Lee, T.H.; Kim, S.J.: Acta Materialia 52 (2004), pp. 5203-5214

- [3] Fahr, D.: Metallurg. Trans. 2 (1971), No. 7, pp. 1883-1892
- [4] Kaufman, L., Breedis, J. F.: Metallurg. Trans. 2(1971), No. 9, pp. 2359-2371
- [5] Weiss, A.; Gutte, H. et al: Proceedings of the 5th European Stainless Steel Science and Market Congress, Sevilla, 2005
- [6] Olson, G.B., Cohen, M.: Metallurgical Transaction A, 7A (1976), pp. 1897-1923
- [7] Weiss, A., Scheller P.R., Jahn, A.: WO 2009/090231 A8, patent specification
- [8] Jahn, A., Kovalev, A., Weiss, A., Scheller, P.R., Wolf, S., Krueger, L., Martin, S., Martin, U.: ESOMAT 2009, 05013 (2009), DOI:10.1051/esomat/200905013
- [9] Jahn, A.; Weiss, A.; Scheller, P.R.: „Stähle für höchste Beanspruchungen“, Stahl und Eisen 129 (2009) No. 11, pp. 92-100
- [10] Gutte, H.; Radke, M.; Weiss, A.; Scheller, P.R.: International Foundry Research 62 (2010) No. 1, pp. 2-11
- [11] Eckstein, H.-J.; Weiss, A.: Neue Huette, No. 8 (1987), p. 290
- [12] Borgenstam, A.; Hillert, M.: Acta materialica 48 (2000) 2777-2785